



**Programa de Pós-Graduação Mestrado em Design**

*Dissertação de Mestrado*

*Orientadora: Professora Doutora Maria Lúcia Leite Okimoto*

Leonardo de Santos Nascimento

**Louça Sanitária Verde: Relação entre porosidade final e a presença de resíduos da indústria de papel na composição de massas cerâmicas para a produção de louça sanitária**

Dissertação de Mestrado como requisito para a obtenção de grau de Mestre em Design, do Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal do Paraná.

ORIENTADORA: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Lúcia Leite Ribeiro Okimoto.

**Curitiba, Fevereiro de 2010**

### **Dedicatória**

Dedico este trabalho à minha família, pelo apoio e suporte ao longo desta minha jornada acadêmica que está apenas começando. E ao meu compreensivo e inspirador companheiro, Tony.

## **AGRADECIMENTOS**

- À minha orientadora Profa. Dra Maria Lúcia Ribeiro Leite Okimoto, pela carinhosa orientação, pelas palavras de incentivo e pelos conhecimentos passados.
- À Profa. Dra. Isabela Mendes Sielski, por despertar em mim o interesse neste material tão fascinante que é a cerâmica.
- À Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Design por terem me acolhido e proporcionado a mim a oportunidade de realizar esta pesquisa.
- Ao IF-SC pela gentileza em disponibilizar seu espaço e equipamentos para a realização deste experimento. O bom filho, à casa retorna...
- Aos meus colegas de mestrado e todas as pessoas que ao longo deste percurso me incentivaram e me apoiaram incondicionalmente.
- Ao Governo Federal e ao Programa REUNI, pelos financiamentos e recursos disponibilizados, que de outra maneira não seria possível a realização desta pesquisa.

## RESUMO

A produção industrial mundial gera grandes volumes de resíduos cuja finalidade e descarte são muitas vezes obscuros. Este problema tem sido agravado pelo aumento do consumo em um mundo globalizado e tem exigido de empresários, governantes e cientistas uma solução para a questão. A indústria de papel também contribui para este impasse, uma vez que a quantidade de resíduos gerados no seu processo produtivo é da ordem de toneladas ao dia. Diante desta realidade, vislumbrou-se a possibilidade de introduzir como carga na massa cerâmica este resíduo de papel, mas isso ainda não foi testado e validado adequadamente. O objetivo desta pesquisa é, a partir de ensaios em ambiente controlado, apontar um percentual máximo de resíduo de papel que pode ser introduzido na massa cerâmica destinada à fabricação de louça sanitária sem que esta adquira uma porosidade excessiva e comprometa sua integridade no que se refere à absorção de água. A utilização deste resíduo de papel na fabricação de louça sanitária poderia reduzir o impacto ambiental causado pelo descarte deste resíduo e também auxiliar na diminuição da extração de matéria-prima nas jazidas de argila.

Palavras chave: Louça sanitária, Lodo de papel, sustentabilidade, porosidade.

## **ABSTRACT**

World industrial production generates large volumes of waste disposal and which purpose is often obscure. This problem has been exacerbated by increased consumption in a globalized world and has required of entrepreneurs, government officials and scientists a solution to the issue. The paper industry also contributes to this issue, since the amount of waste generated in the production process is of the order of tons per day. This study is from tests in a controlled environment, and aims at finding a percentage of waste paper that can be introduced into the ceramic body for the manufacture of sanitary ware without making increasing porosity and compromising its integrity with regard to absorption of water. The use of this residue in the manufacture of sanitary ware could reduce the environmental impact of disposal of this waste and also help in reducing the extraction of raw material in the deposits of clay.

Keywords: Sanitary ware, paper sludge, sustainability, porosity

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b> – Aterro sanitário do lodo de papel da indústria pesquisada.....	22
<b>FIGURA 2</b> – Distribuição das empresas fabricantes de louça sanitária no Brasil...	41
<b>FIGURA 3</b> – Processo de molde colado.....	44
<b>FIGURA 4</b> – Laboratório de Cerâmica do IF-SC e os equipamentos utilizados.....	53
<b>FIGURA 5</b> – Craquelamento da superfície.....	59
<b>FIGURA 6</b> – Efeito de “picado” na superfície esmaltada.....	60
<b>FIGURA 7</b> – Estudo do encolhimento da massa.....	62
<b>FIGURA 8</b> – Trituração da argila comum.....	65
<b>FIGURA 9</b> – Matérias-primas.....	66
<b>FIGURA 10</b> – Pesagem das matérias-primas.....	66
<b>FIGURA 11</b> – Formulação da massa.....	66
<b>FIGURA 12</b> – Mistura das matérias-primas.....	67
<b>FIGURA 13</b> – Mistura hidratada.....	67
<b>FIGURA 14</b> – Moldagem dos corpos-de-prova.....	67
<b>FIGURA 15</b> – Secagem à temperatura ambiente.....	68
<b>FIGURA 16</b> – Aplicação do engobe e esmalte transparente.....	68
<b>FIGURA 17</b> – Corpos-de-prova no forno elétrico após a queima.....	68
<b>FIGURA 18</b> – Corpos-de-prova na estufa.....	69
<b>FIGURA 19</b> – Corpos-de-prova no dessecador.....	69
<b>FIGURA 20</b> – Ebulição.....	70
<b>FIGURA 21</b> – Corpos-de-prova em fase de resfriamento.....	70
<b>FIGURA 22</b> – Corpos-de-prova ensaiados.....	73

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>GRÁFICO 1</b> – Desempenho da produção brasileira de celulose e papel.....	1
<b>GRÁFICO 2</b> – O conceito do Life Cycle Design.....	19
<b>GRÁFICO 3</b> – Empresas produtoras de louça sanitária no Brasil.....	40
<b>GRÁFICO 4</b> – Fluxograma do processo de fabricação da louça sanitária.....	47
<b>GRÁFICO 5</b> – Descrição das variáveis independentes e dependentes.....	56
<b>GRÁFICO 6</b> – Cor da peça em função da temperatura.....	61

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1</b> – Resíduos de papel e seu aproveitamento.....	25
<b>TABELA 2</b> – Propriedades dos tijolos em função da adição de resíduo.....	29
<b>TABELA 3</b> – Fórmulas gerais das pastas de maiólicas.....	36
<b>TABELA 4</b> – Gramas de matéria-prima na composição da massa.....	65
<b>TABELA 5</b> – Resultado do ensaio de absorção dos corpos-de-prova.....	72
<b>TABELA 6</b> – Absorção na massa com diferentes percentuais de feldspato.....	74
<b>TABELA 7</b> – Ajuste da massa com percentual de cada elemento.....	75
<b>TABELA 8</b> – Absorção de água na fórmula ajustada.....	76



## SUMÁRIO

### 1- INTRODUÇÃO

1.1 Visão geral do método de pesquisa.....	6
--	---

### 2 - MÉTODO DE PESQUISA

2.1 Caracterização do problema .....	8
2.2 Seleção do método .....	10
2.3 Protocolo de coleta de dados .....	10
2.4 Estratégia de análise de dados.....	13

### 3- CONTEXTUALIZAÇÃO DA PROBLEMÁTICA

3.1 Sustentabilidade, resíduos industriais e o seu tratamento.....	15
3.2 Caracterização do lodo da produção de papel (LPP).....	21
3.3 Utilização do resíduo de papel na indústria.....	25
3.3.1 utilização do resíduo de papel na indústria de cerâmica vermelha.....	27
3.4 Cerâmica – matérias-primas.....	30
3.5 Louças de Pasta Branca.....	33
3.5.1 Maiólicas.....	34
3.5.2 Maiólica Sanitária.....	37
3.6 Louça Sanitária.....	38
3.6.1 Panorama da indústria de louça sanitária.....	39
3.6.2 Processos produtivos.....	42

### 4- DESENVOLVIMENTO

4.1 Projeto do experimento.....	50
4.2 Ambiente.....	52

4.3 O ensaio.....	53
4.4 Metodologia do experimento.....	54
4.5 Teste Piloto – ajuste da massa, temperatura, encolhimento, vidrado.....	55
4.5.1 Temperatura de queima.....	56
4.5.1.1 Qualidade do vidrado.....	58
4.5.1.2 Resultados.....	59
4.5.1.3 Cor de queima clara.....	61
4.5.1.4 Encolhimento.....	62
4.5.1.5 Discussão.....	63
4.5.2 Percentual de LPP.....	64
4.5.3 Preparação dos corpos-de- prova.....	65
4.6 Ensaio de absorção preliminar.....	69
4.6.1 Resultados.....	72
4.6.2 Discussão.....	72
4.7 Ensaio de absorção final.....	76
4.7.1 Discussão.....	76
<b>5 – ANÁLISE/CONSIDERAÇÕES.....</b>	<b>79</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>82</b>



## 1- INTRODUÇÃO

Segundo dados da BRACELPA (2007), a produção mundial de papel teve um aumento significativo, de aproximadamente 35% nos dez últimos anos. Só no Brasil, que ocupa a posição de sétimo maior fabricante mundial de celulose, o crescimento anual da produção de celulose entre 1970 e 2007 foi de 7,8% e a produção de papel de 5,8%, como mostra o gráfico abaixo:

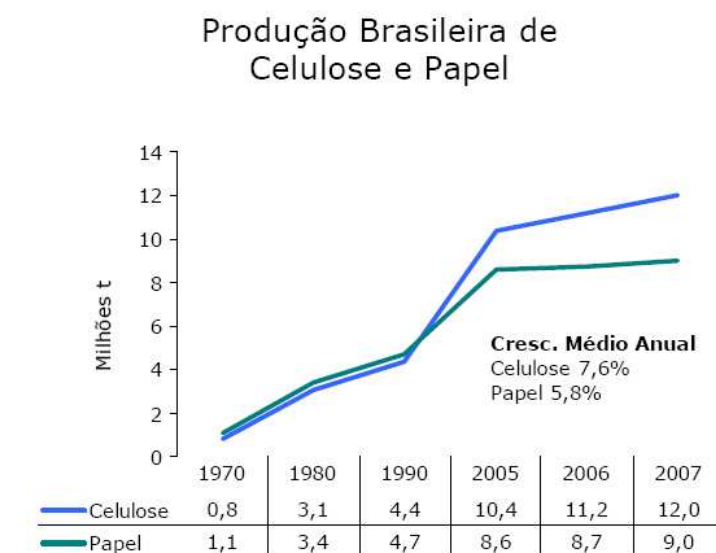


Gráfico 1 – Desempenho da produção brasileira de celulose e papel.  
Fonte: ABC Papel

O processo de fabricação do papel também gera resíduos, e o grande volume da produção acarreta em um considerável volume gerado deste resíduo. Uma planta produtora de papel pode gerar diariamente cerca de 16 toneladas de resíduos.

O resíduo resultante da fabricação de papel é um líquido com alto teor de materiais sólidos em suspensão. Esse líquido é tratado para desidratar, gerando uma espécie de pasta sólida denominada lodo (NOLASCO, 1993).

O aumento significativo na produção anual de papel no mundo implica em uma quantidade cada vez maior de resíduo gerado, provocando um grave problema de descarte deste lodo de papel. Algumas indústrias do setor de construção civil já desenvolveram pesquisas com este material e em alguns casos o lodo foi incorporado com sucesso ao processo produtivo de alguns produtos, como é o caso da cerâmica vermelha (tijolos e blocos de vedação). Em pesquisa realizada em 2006, ficou atestado que a incorporação de até 10% de resíduo na massa cerâmica destinada à indústria de cerâmica vermelha mostrou-se viável tecnicamente (SILVA *et al*, 2006).

A reciclagem deste material na cerâmica vermelha indica possibilidades de explorar mais aprofundadamente outras associações possíveis com a cerâmica. Um nicho de mercado que ainda não recebeu muita atenção neste sentido foi a indústria de cerâmica branca, mais especificamente a indústria de louça sanitária, cuja produção no Brasil é de aproximadamente 18 milhões de peças/ano (TANNO, 2003), produção essa que consumiria parte do resíduo gerado pela indústria de papel e possibilitaria a elaboração de novos produtos com qualidade similar aos disponíveis no mercado, aumentando a reciclagem deste material e diminuindo a extração de matéria-prima argilosa.

Desta forma, é também responsabilidade do design buscar maneiras de combinar este resíduo com outros materiais para a fabricação de novos produtos, encontrando soluções técnicas viáveis e resolvendo algumas questões relacionadas à sustentabilidade, como o descarte de resíduos ou a reintegração destes resíduos em processos produtivos.

Segundo Manzini & Vezzoli (2002), a atividade do design que visa ligar o que é tecnicamente possível ao ecologicamente necessário chama-se Ecodesign, de modo a criar novas propostas culturais e socialmente aceitáveis. Dentre todos os requisitos de

atendimento de um projeto, como funcionalidade, viabilidade econômica e técnica, a questão da sustentabilidade deve estar presente, sendo um fator determinante no momento de busca por uma idéia de produto (PAHL E BEITZ, 1993).

O processo de desenvolvimento de um produto exige a utilização de metodologias sistemáticas de projeto (BAXTER, 1998). O emprego de novos materiais na fabricação de produtos envolve uma série de passos específicos e de caráter exploratório, muitas vezes com testes em ambientes controlados.

Neste caso, a busca por uma associação lodo de papel/cerâmica branca exige uma exploração empírica na busca por dados quantitativos que mostrem a viabilidade de tal combinação. É a criação de um novo material, com propriedades próprias que devem ser esclarecidas para que o seu aproveitamento seja pleno.

Ao se analisar a normatização deste nicho industrial, fica claro que muitos são os fatores que devem ser observados ao se desenvolver novos produtos cerâmicos sanitários. Requisitos como resistência mecânica, qualidade do vidrado empregado, porosidade da massa cerâmica, etc. devem ser observados para que o produto atenda às exigências da norma e possa ser comercializado. A base, ou início de processo para todo e qualquer produto cerâmico, é a formulação da massa utilizada na fabricação dos produtos (VITTEL, 1978). A massa é, portanto, o produto ainda “sem ser produto”, já que é esta que será utilizada para gerá-lo. É uma espécie de precursor do produto. É a primeira fase de desenvolvimento de produtos deste tipo. As qualidades ou defeitos da massa determinarão a qualidade final dos produtos. Quanto mais porosa for a massa cerâmica produzida, menos sua resistência mecânica será e assim por diante. É uma cadeia interligada cuja origem, ou primeiro elo, está na formulação correta da pasta cerâmica.

O papel é rico em substâncias orgânicas, bem como o resíduo produzido na sua fabricação. Ao se pensar em introduzir em uma massa cerâmica esse tipo de material deve-se considerar os efeitos que essa adição provocará no produto final. A volatilização de matéria orgânica durante a queima da massa pode produzir poros no interior e na superfície da mesma, o que poderá comprometer a sua integridade em termos de absorção de umidade (fator essencial para produtos cerâmicos de uso em ambientes úmidos) e resistência mecânica.

Neste sentido, este trabalho partiu do questionamento relacionado à quantidade máxima e adequada de lodo de papel que pode ser adicionada na massa cerâmica destinada à louça sanitária e suas conseqüências – em termos de porosidade da massa final.

Assim ele tem por objetivo geral esclarecer a relação entre a quantidade de resíduo da indústria de papel na composição de uma massa cerâmica para a indústria de louça sanitária e a porosidade final desta mesma massa, descrita em termos de absorção de água, apontando a presença máxima de resíduo tolerada pela mistura.

Como objetivos específicos, este trabalho visa:

- Caracterizar o lodo de papel bem como as matérias-primas utilizadas na fabricação de louça sanitária;
- Determinar através de pesquisa empírica o nível máximo de tolerância da massa cerâmica no que se refere à adição do lodo na mistura;
- Estabelecer a porosidade da mistura (absorção de água) em função da

temperatura de queima e do percentual de agregado na massa através de ensaios laboratoriais.

Esta pesquisa científica fundamenta-se na seguinte hipótese:

O lodo de papel pode ser adicionado à massa cerâmica destinada à fabricação de louça sanitária atendendo os requisitos estabelecidos pela norma brasileira que rege este setor, sem que esta torne-se demasiadamente porosa, comprometendo assim a integridade do corpo cerâmico.

Este trabalho justifica-se por meio de aspectos tecnológicos, como a criação de uma nova massa cerâmica e as implicações técnicas que decorrem deste processo, e aspectos de sustentabilidade, ao propor uma alternativa para o resíduo de papel que de outra maneira seria descartado em aterros sanitários trazendo consigo todos os custos ambientais desta prática, bem como a redução da extração de matéria-prima para a fabricação cerâmica.

Como delimitação, observa-se o caráter acadêmico desta pesquisa, que não tem por objetivo final a aplicação prática deste material na indústria pelo simples fato de que cada empresa produtora de louça sanitária deste país utiliza sua própria massa, com características específicas e muitas vezes regionais, com componentes próprios da formação geológica de onde suas jazidas estão situadas. Esta pesquisa busca, portanto, mostrar que uma associação do lodo de papel com a louça sanitária é possível.

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos. Na introdução, a pergunta de pesquisa é apresentada assim como os objetivos. A hipótese e a estrutura geral do trabalho também são apresentadas. No segundo capítulo é discutida a caracterização do



problema, o método de pesquisa e o protocolo de coleta de dados. No terceiro capítulo serão apresentadas as bases teóricas deste projeto, que se concentrarão nos eixos temáticos cerâmica, louça sanitária e lodo de papel/sustentabilidade, com referências a textos e artigos publicados nestas áreas. O quarto capítulo trará a descrição dos procedimentos do experimento e o quinto capítulo a discussão e as considerações finais.

### 1.1 Visão geral do método de pesquisa

Formulado o problema de pesquisa e enunciada a hipótese, o procedimento seguinte foi verificar ou confrontar a afirmação da hipótese com informações obtidas na literatura e posteriormente na realidade empírica (RUDIO,2002). Devido ao caráter exploratório desta pesquisa, definido pela pergunta inicial do problema que caracteriza a aplicação de um procedimento metodológico (YIN, 2005), a estratégia de pesquisa selecionada para este projeto foi o experimento, realizado após a pesquisa documental em livros, periódicos e *journals* relacionados com o eixo temático lodo de papel/cerâmica.

Esta pesquisa se deu em três fases, divididas de forma lógica, de modo a contemplar todos os objetivos específicos relacionados anteriormente. Estas fases são:

- a) Pesquisa teórica;
- b) Experimento laboratorial;

c) Análise, interpretação dos dados e conclusões.

Na pesquisa bibliográfica, estudou-se as questões ambientais relacionadas ao descarte de resíduos industriais e suas implicações. Ainda, o material lodo de papel foi caracterizado e algumas de suas aplicações na indústria analisadas. Diante das pesquisas realizadas com o lodo e a cerâmica vermelha, buscou-se indicativos para a sua adaptação às necessidades técnicas da indústria de louça sanitária com base na normatização dos produtos deste setor.

Na fase do experimento laboratorial, a hipótese levantada durante a pesquisa bibliográfica foi testada, definindo um percentual de agregado na mistura e temperatura ideais. Das informações obtidas durante os procedimentos em laboratório organizaram-se os dados de modo a poderem verificar ou não a hipótese.

O passo seguinte, segundo Rudio (2002) foi a interpretação dos dados, que consiste em relatar o verdadeiro significado que os dados obtidos possuem para os propósitos da pesquisa. Os resultados serão apresentados no final desta pesquisa no “âmbito que a pesquisa permite e a lógica consente” (RUDIO, 2002).

## **2 – MÉTODO DE PESQUISA**

Segundo Rudio (2002), “pesquisa no seu sentido mais amplo é o conjunto de atividades orientadas para a busca de um determinado conhecimento”. Nem toda pesquisa, porém, pode ser considerada científica, e só o será se for feita de modo sistematizado, utilizando métodos próprios e técnicas específicas. É o método, portanto, que diferencia a pesquisa científica de outras modalidades de pesquisa. Nesta parte do projeto o método a ser adotado para o desenvolvimento desta pesquisa será apresentado.

### **2.1 Caracterização do problema**

Como observado anteriormente, o resíduo da produção de papel, ou lodo de papel, vem sendo estudado e novas alternativas para o seu reaproveitamento exploradas. O problema relacionado ao descarte deste material é percebido pela empresa investigada, e ao contrário de algumas empresas geradoras de resíduos poluentes, a empresa não considera que sua responsabilidade termina quando o produto encontra-se finalizado e deixa seu sistema de produção (BUTTLER, 2003). Há um interesse genuíno em buscar soluções para o problema do descarte, e este está de certa forma atrelado à questões relacionadas aos custos de adquirir novas áreas de aterramento. Mesmo que seu interesse seja alavancado por fatores econômicos, sua determinação em subsidiar pesquisas nesse sentido é louvável.

Mesmo que pouco poluente, o descarte desregrado deste resíduo (dadas as grandes quantidades geradas diariamente) degrada as áreas de aterramento e podem influenciar o aparecimento de outras complicações ambientais, como a erosão e o desaparecimento de espécies de bactérias e insetos presentes no solo aterrado, com consequências que afetam toda a fauna local (COSTA, 2007).

Desde soluções para a agricultura ao desenvolvimento de novos produtos para a construção civil, o leque de opções para a reciclagem deste material também é limitado pela criatividade dos designers e engenheiros. Muita pesquisa realizada aponta para resultados satisfatórios no que tange às propriedades mecânicas e físicas deste resíduo, ampliando ainda mais as oportunidades de aplicação do lodo na indústria, como será exemplificado no ponto 3.3.

A experimentação com este resíduo associado à cerâmica não é inédita, como será exposto a seguir, mas não foram encontradas tentativas registradas de desenvolver produtos para a indústria de cerâmica branca. Algumas dificuldades técnicas podem ser a causa da falta de pesquisa nesse campo. Foi uma destas dificuldades que nortearam este trabalho: a porosidade final de uma massa cerâmica.

A porosidade, que está diretamente ligada à absorção de água, é uma característica importante para equipamentos feitos de cerâmica que estarão em contato direto com água ou inseridos em um meio úmido. O lodo de papel, que é um resíduo com altos teores de matéria orgânica, pode influenciar a porosidade de uma massa, tornando-a mais suscetível à ação da água em um ambiente úmido. É a partir deste questionamento que esta pesquisa se desenvolveu.

## 2.2 Seleção do método

Para Silva e Menezes (2000), “método científico é o conjunto de processos ou operações mentais que se devem empregar na investigação”. É a linha de raciocínio adotada no processo de pesquisa.

Yin (2005) destaca que a primeira e mais importante condição para diferenciar as várias estratégias de pesquisa é identificar o tipo de questão de pesquisa que está sendo apresentada. Como esta pesquisa terá controle sobre os eventos comportamentais, focalizará em acontecimentos contemporâneos e a forma da questão de pesquisa é “como”, a estratégia mais indicada para estudar o problema e alcançar os objetivos é o experimento. De acordo com Yin (2005) isso se deve ao fato da tal questão lidar com ligações operacionais que necessitam ser traçadas ao longo do tempo.

## 2.3 Protocolo de coleta de dados

Chama-se de coleta de dados a fase do método de pesquisa cujo objetivo é obter informações da realidade (RUDIO,2002). Esse processo de obtenção de informações pode valer-se de diversos instrumentos e esta pesquisa lançará mão da observação sistemática dos acontecimentos em ambiente controlado.

Para Rudio (2002) a observação deve ser considerada o ponto de partida para todo estudo científico e meio para verificar e validar os conhecimentos adquiridos. Para que uma observação seja bem feita, é preciso limitar e definir com precisão aquilo que se vai observar. Para o autor, observar, no seu sentido mais simples, é aplicar os sentidos a fim de obter uma determinada informação sobre algum aspecto da realidade.

A observação pode ser científica ou vulgar e a primeira complementa, aperfeiçoa e enriquece a segunda (RUDIO, 2002). A observação científica pode ser ainda dividida em duas categorias, a observação assistemática e a observação sistemática.

Observação assistemática é aquela observação realizada sem planejamento e sem controle, como decorrência de fenômenos que surgem do imprevisto. A observação sistemática por sua vez é aquela que se realiza em condições controladas para se responder à propósitos que foram anteriormente definidos. Esta pesquisa será baseada na observação sistemática, para melhor entender seu mecanismo, uma visão mais detalhada deste tipo de observação será apresentado a seguir:

Em uma observação sistemática alguns elementos devem ser considerados:

- Por que a observar? (planejamento e registro da informação);
- Para que observar? (objetivos da observação, definidos pelo interesse da pesquisa);
- Como observar? (instrumento utilizado na observação);
- O que observar? (o campo de observação);

- Quem observa? (sujeito da observação);

As questões abaixo devem indicar que a observação sistemática:

- Deve ser planejada, mostrando-se com precisão, que dados registrar e como registrá-los;
- Tem como objetivo obter informações da realidade empírica, a fim de verificar as hipóteses que foram enunciadas para a pesquisa;
- É necessário indicar e limitar a “área” da realidade empírica onde as informações podem e devem ser obtidas.

Para Rudio (2002), o planejamento de uma observação sistemática inclui a indicação do campo, do tempo e da duração da observação bem como os instrumentos que serão utilizados. O campo de uma pesquisa é obtido ao se selecionar, limitar e identificar o que vai ser observado. O tempo e a duração são o espaço de tempo previsto durante o início da análise e o fim dela.

Neste projeto, o campo de pesquisa será o ambiente do laboratório e os comportamentos observados no objeto de pesquisa deste trabalho, neste caso a massa cerâmica/lodo de papel. Todos os procedimentos foram observados e descritos a partir de anotações realizadas durante o processo. Seguiu-se uma metodologia detalhada proposta pela norma da ABNT NBR 15097 especificamente relacionada com absorção do corpo cerâmico.

## 2.4 Estratégia de análise dos dados

A análise dos dados coletados deve ser feita para atender aos objetivos da pesquisa e para comparar e confrontar dados e provas com o objetivo de confirmar ou rejeitar a(s) hipótese(s) ou os pressupostos da pesquisa (SILVA E MENEZES, 2000). Yin (2005) considera a análise dos dados um dos aspectos menos desenvolvidos e mais complicados ao se realizar uma pesquisa. O autor sugere algumas estratégias de análise e as divide em dois grupos: as estratégias gerais de análise e as técnicas analíticas específicas.

Neste momento somente as estratégias gerais serão consideradas e uma apontada para ser utilizada.

- *Estratégia baseada em proposições teóricas* – Nesta estratégia, os objetivos e o projeto original basearam-se em proposições de cunho teórico, e estas proposições por sua vez levaram ao experimento. As proposições refletiram o conjunto de questões da pesquisa, as revisões feitas na literatura e as novas proposições ou hipóteses. Elas deram forma ao plano de coleta de dados e estabeleceram a prioridade às estratégias analíticas relevantes.
- *Estratégia que confronta explicações concorrentes* – Esta estratégia analítica tenta definir e testar explicações concorrentes. É confrontar, por exemplo, um autor “X” que defende um determinado ponto de vista com suas respectivas referências teóricas com um autor “Y” também que defende seu ponto de vista com suas respectivas referências teóricas. A partir da análise destes autores e dos resultados



do experimento comprova-se ou não as teorias de “X” ou de “Y”.

- *Estratégia de desenvolvimento de uma descrição de caso* – Esta estratégia visa desenvolver uma estrutura descritiva a fim de organizar o experimento. Esta estratégia é geralmente utilizada quando o propósito inicial de um estudo pode ser uma descrição propriamente dita.

Como esta pesquisa priorizou levantar os resultados pertinentes ao uso do LPP (lodo da Produção de papel) na fabricação de louça sanitária seu impacto na porosidade final da massa, a estratégia de análise dos dados utilizada foi a *Estratégia baseada em proposições teóricas*.

### 3- CONTEXTUALIZAÇÃO DA PROBLEMÁTICA

#### 3.1 Sustentabilidade, resíduos industriais e o seu tratamento

O rápido aumento da contaminação do meio ambiente por resíduos sólidos oriundos da industrialização progressiva é um problema ambiental de suma importância (HOJAMBERDIEV *et al*, 2008). O aumento populacional em centros urbanos e o consumo crescente de bens e serviços transformou a questão dos resíduos em um grave problema cujo gerenciamento é oneroso e complexo, considerando a quantidade e massa acumulados (JOHN, 1999).

De acordo com a norma NBR 10004 (ABNT, 2004) os resíduos sólidos podem ser considerados em sólidos e semi-sólidos, que são gerados a partir das atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição (coleta de resíduos). Nesta categoria (resíduos sólidos) estão os lodos industriais cujas propriedades de seus componentes inviabilizam o seu descarte nas redes pluviais.

Para a norma NBR 10004 (ABNT, 2004) e CONAMA (2002) os resíduos são classificados da seguinte maneira:

- Classe I – Perigosos: possuem características de corrosividade, inflamabilidade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, periculosidade. Apresentam riscos à saúde pública e precisam de tratamento e disposição especiais;

- Classe II – Não inertes: Estes resíduos não apresentam periculosidade, mas não são inertes. O lixo doméstico pertence a essa classe, e resíduos não-inertes podem apresentar combustibilidade, biodegradabilidade e solubilidade em água.
- Classe III – Inertes: Esse tipo de resíduo, quando em contato com água potável, não a polui, e esta permanece potável. Esse tipo de resíduo não se degrada facilmente. São exemplos de resíduos inertes pedras, areias de escavações e entulho de demolição.

Os problemas em decorrência do não tratamento ou descarte inapropriado dos resíduos podem acarretar riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Ainda que a diminuição da geração de resíduos seja uma ação indispensável e essencial para a solução desta questão, a reciclagem destes materiais pode ser um caminho viável, e a médio prazo, suprir as demandas ambientais, diminuindo o impacto causado pelo seu descarte na natureza. Esse esforço, porém, é limitado pelos custos do desenvolvimento tecnológico necessário para tratar a matéria-prima impura e adaptar a indústria para a produção em escala comercial (JOHN, 2000).

Muitas empresas também entendem que até mesmo a geração de resíduos está atrelada a custos, uma vez que é de responsabilidade dessas mesmas empresas a correta disposição e o eventual tratamento desse material (OLIVEIRA *et al*, 2000).

Graças a leis ambientais relacionadas a restrições no descarte dos resíduos industriais, emissões de poluentes na atmosfera e nos rios, ao desmatamento etc. - como a série NBR ISO 14001 (ABNT, 1996) – a indústria vê-se pressionada pelas questões ambientais referentes ao seu processo produtivo. Mesmo o mercado consumidor, bombardeado por ações governamentais e não-governamentais de cunho ecológico,

acaba por também impor exigências e “soluções limpas” no desenvolvimento de novos produtos.

Para Nunes Jr (2002), a produção limpa propõe a implementação de tecnologias ambientalmente menos poluentes, objetivando uma ação preventiva que resulte em uma redução significativa de emissões de efluentes, a utilização racional e eficiente dos insumos produtivos e a redução, reutilização e reciclagem dos resíduos.

A reciclagem de resíduos industriais pode trazer muitos benefícios ao meio ambiente. Ao analisar-se o caso das indústrias produtoras de papel, setor que produz dezenas de toneladas de resíduos por dia, a principal vantagem da reciclagem é:

- A diminuição no consumo de recursos naturais não-renováveis, quando substituídos por resíduos reciclados (JOHN, 2000), neste caso o resíduo de papel pode ser usado como matéria-prima na composição de um novo material;
- Redução de áreas necessárias para aterro, decorrentes da diminuição do volume de resíduo descartado, graças à reciclagem.

A reciclagem de resíduos deve ser considerada no momento em que se busca por oportunidades de novos produtos. Quando concebido, este produto precisa ser pensado de modo a diminuir o impacto causado por ele desde o início de seu processo produtivo, seu uso e finalmente seu descarte. Este processo se chama ciclo de vida de um produto.

Para Manzini & Vezzoli (2002) os limites ambientais são testemunhos de que já não é mais possível conceber a atividade de *design* sem confrontá-la com o conjunto das relações que o produto vai ter no meio ambiente durante todo o seu ciclo de vida. Esta

pode ser uma oportunidade para o planejamento de novos produtos, na medida em que se identifica necessidades ambientais e estas são convertidas em requisitos ambientais de projeto.

Ao aplicar uma estratégia ambiental consciente durante o processo de planejamento de produto é possível evitar ou limitar os problemas relacionados com a preservação do meio ambiente (MANZINI & VEZZOLI, 2002). Esta estratégia ambiental pode ser aplicada através do estudo da vida do sistema-produto.

A vida do sistema-produto, ou ciclo de vida de um produto, é o conceito que se refere a todas as fases envolvidas desde a projeção de um produto, sua fabricação, uso e descarte. Através dele é possível rastrear toda a existência de um produto como um conjunto de atividades e processos, cada um deles absorvendo uma certa quantidade de energia, operando uma série de transformações e liberando emissões de natureza diversa (MANZINI & VEZZOLI, 2002).

Segundo Manzini & Vezzoli (2002), a vida do sistema-produto é dividida em fases, e são elas:

- Pré-Produção;
- Produção;
- Distribuição;
- Uso;

- Descarte.

Cada fase deve ser considerada em separado, e analisada de modo a reduzir os problemas que podem surgir ao longo do processo. Esses problemas poderão acarretar em custos adicionais, atraso de entrega do produto final e *recall* de peças ou sistemas inteiros. O mau planejamento nas fases iniciais do projeto pode interromper o processo e o projeto ser abortado (MANZINI & VEZZOLI, 2002).

Assim como os fatores estéticos, culturais, as questões de preço e logística, os requisitos ambientais devem ser levados em consideração desde as primeiras fases do projeto. Falhar em apontar os possíveis danos ao meio ambiente e tentar sanar os problemas que os causam pode ser desastroso.



Gráfico 2 – O conceito do Life Cycle Design, por Manzini & Vezzoli (2002)

Quanto mais cedo esses problemas forem identificados, mais oportunidades de resolvê-los se apresentarão. Manzini & Vezzoli (2002) sugerem que uma visão mais ampla de projeto deve ser adotada, e essa abordagem chama-se *Life Cycle Design* (LCD).

De acordo com visão do *Life Cycle Design*, o produto deve ser projetado, considerando em todas as suas fases, o conceito de ciclo de vida. A partir deste ponto de vista, todas as atividades desenvolvidas na produção, distribuição, uso e descarte do produto são consideradas uma só unidade. Isso torna o projeto de produto em um projeto de ciclo de vida de um produto (MANZINI & VEZZOLI, 2002).

Ao pensar desta maneira, a atividade de projeção de um produto permite particularizar o conjunto das conseqüências de uma proposta de produto, mesmo para aquelas fases que normalmente não seriam consideradas no momento do projeto. Podem-se assim, identificar e colocar, com mais clareza e eficácia, os objetivos de redução do impacto ambiental desejado (MANZINI & VEZZOLI, 2002).

O objetivo desta técnica é reduzir a carga ambiental associada a todo o ciclo de vida do produto. Todos os seus *inputs* (energia empregada e materiais utilizados) e *outputs* (emissões e refugos) devem ser analisados, permitindo assim quantificar ou qualificar seus efeitos nocivos ao meio ambiente.

### 3.2 Caracterização do Lodo da produção de papel (LPP)

Os vários resíduos de papel gerados pela indústria de papéis são principalmente compostos de fibras orgânicas (celulose, hemi-celulose e /ou lignina), e componentes inorgânicos como a cal, talco e calcário, entre outros elementos (HOJAMBERDIEV *et al*, 2008).

Nolasco (1993) buscou classificar estes resíduos e os dividiu nos seguintes tipos:

- d) Cascas – rejeito da preparação da madeira inadequado para a queima em função da presença de contaminantes inorgânicos.
- e) Cinzas – geradas na queima de cavacos energéticos e cascas.
- f) Licor negro – solução gerada da decomposição dos constituintes da madeira.
- g) *Dregs* – impurezas resultantes do processo de clarificação do licor verde.
- h) Grits – resíduo gerado no processo de caustificação do licor negro.
- i) Rejeito de depuração – impurezas presentes junto a polpa não branqueada e branqueada.
- j) Lodo primário – material sedimentado nos decantadores primários do sistema de tratamento de efluentes.



k) Lodo secundário ou biológico – formado pela transformação da matéria orgânica solúvel presente no efluente no tratamento biológico.

l) Lodo terciário – lodo gerado no tratamento terciário através de precipitação química, normalmente com sulfato de alumínio e algum polieletrólito.

O resíduo de papel abordado neste pesquisa é o lodo de papel, sendo ele primário ou secundário, cujo descarte é variado, sendo o mais comum o aterro industrial (HORACE *et al*, 1997) e o descarte em áreas a céu aberto (HOJAMBERDIEV *et al*, 2008).

Mesmo sendo uma das formas mais comuns de descarte, o aterramento vem encontrando dificuldades em vários países devido ao esgotamento de áreas para aterrar resíduos industriais (HOJAMBERDIEV *et al*, 2008).



Figura 1 – Aterro sanitário do lodo de papel da indústria pesquisada.  
FONTE: arquivo pessoal

No caso da indústria pesquisada, o aterro sanitário utilizado por ela está situado a aproximadamente 3 km de distância e ocupa uma área de 10 hectares distribuídos em células do tipo trincheira, com revestimento de lona (Figura 1). No que se refere à

contaminação ambiental, a empresa atualmente responde judicialmente à essas questões.

Outras formas de utilização deste material residual devem ser estudadas, e a transformação do lodo em produtos na sua composição original ou através da combinação com outros materiais pode ser uma alternativa que mereça mais atenção (ALDA, 2008).

Para formar um compósito que utilize o lodo da indústria de papel no desenvolvimento de novos produtos é necessário uma análise detalhada deste resíduo. Esta pesquisa estudou o resíduo gerado pela estação de tratamento de efluentes (ETE) de uma empresa fabricante de papel higiênico e guardanapos de papel, denominados papel *tissue* (papéis para fins sanitários), situada em Rio Negrinho no estado de Santa Catarina.

Esta empresa utiliza aparas de papel reciclado oriundos de Curitiba, São Paulo e Rio de Janeiro para a fabricação de seus produtos, que é da ordem de 2.000 toneladas de papel por mês. Em contrapartida, a quantidade de resíduo de lodo da ETE gerado diariamente é de aproximadamente 16 toneladas. Este lodo é submetido a um processo de centrifugação e transportado para o aterro.

A empresa em questão possui três máquinas produtoras de papel, com uma produção de 2000 toneladas ao mês.

No processo de fabricação do papel, as aparas são processadas, passando por trituração, depuração e refinação. Todas as impurezas retidas nas aparas, como areia, plástico e objetos metálicos são extraídas.

A massa fibrosa segue para as máquinas formadoras de papel, e o excesso de água retorna ao processo para se retirar o restante de fibras, com destino final a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), onde se junta a outras águas provenientes de outros processos na fabricação. Uma vez no interior da ETE, a água recebe a de polímeros e agentes flotadores (Sulfato de Alumínio), para agilizar o processo de decantação e clarificação.

O processo de decantação é realizado em tanques, e o lodo é bombeado para máquinas centrífugas que separam o lodo da água. Aproximadamente 90% das fibras que restam no lodo são extraídas neste processo primário de tratamento. Ao deixar as centrífugas, o lodo possui uma umidade de aproximadamente 60% e é composto basicamente por fibras celulósicas que não são aproveitadas no processo de produção.

A composição química dos resíduos das fábricas de papel reciclado pode variar segundo o tipo de aparas utilizadas no processo. De forma geral, o lodo gerado pelas indústrias de papel reciclado é composto por fibras de cor acinzentada (BALBINOT JUNIOR *et. al*, 2006), classificado pela ABNT como classe II, ou seja, não inerte.

Uma caracterização detalhada do lodo produzido nesta empresa encontra-se no Anexo1.

### 3.3 Utilização do LPP na indústria

No lodo da indústria de papel, a alta quantidade de água e a baixa presença de sólidos podem ser comparadas às características das argilas (TEIXEIRA, 2002), possibilitando o aterramento deste material depois de produzido. Porém, problemas relacionados à contaminação do solo (redução drástica dos micro-organismos e insetos presentes no solo contaminado) e à falta de espaço para aterramento vem forçando as empresas produtoras de papel a buscarem alternativas para o descarte deste material.

A produção de papel gera ao longo do seu processo diversos resíduos cada qual com suas características específicas, e seu aproveitamento já foi estudado e sua aplicação comprovada. Cada um destes resíduos pode ser absorvido por um determinado nicho industrial graças à identificação das propriedades de cada tipo de resíduo. Nolasco (2006) relacionou estes resíduos e seu aproveitamento na indústria de acordo com suas características físicas e químicas:

<b>Resíduo Gerado</b>	<b>Destinação</b>
Cascas	Fertilizante orgânico
<i>Dregs</i>	Corretivo de acidez no solo
Grits	Corretivo de acidez no solo
Rejeitos	Produção de compósitos cimentícios
Lama de cal	Cultivo de cogumelo Corretivo de acidez no solo
Lodo primário	Compósitos cimentícios
Lodo biológico	Fertilizante orgânico
Rejeitos Celulósicos	Compósitos cimentícios (telhas e painéis)
Cinzas	Cimento

Tabela 1 – Resíduos de papel e seu aproveitamento  
Fonte: Nolasco (2006)

A análise do quadro acima permite concluir que os resíduos da produção de papel

são basicamente absorvidos pela indústria da construção civil e pela indústria agrícola.

A construção civil é um setor cujo potencial de aproveitamento de resíduos é significativo. Isso se deve a vários fatores como a grande diversidade e quantidade de matérias-primas utilizadas, escassez de algumas matérias-primas tradicionais, constante busca de novos materiais e processos para sanar algumas das carências deste setor.

O lodo da produção de papel possui algumas qualidades que podem contribuir para a sua utilização na construção civil, segundo Paiva (2007):

- não apresenta sazonalidade na geração;
- pequena variação na composição química ao longo do tempo e entre as empresas;
- grandes quantidades de fibras e materiais inertes (caulim e carbonato de cálcio);
- não é um resíduo que apresente periculosidade;
- tem grande potencial para ser incorporado em materiais e componentes construtivos tradicionais;
- ampla distribuição no país;
- curta distância dos centros consumidores.

Estudos realizados com o lodo de papel misturado à argamassa atestaram que

uma associação de 0% a 20% de resíduo em relação à massa de cimento é possível, produzindo resultados satisfatórios (LEBÉIS, 2003).

Uma concentração maior de lodo foi conseguida por Battistelle (2002), que incorporou com sucesso até 40% de resíduo na composição de tijolos de adobe (tijolos sem queima), com resultados bastante satisfatórios nos ensaios realizados de compressão, absorção, intemperismo e gotejamento.

Já no caso da indústria agrícola, o uso do lodo da indústria de papel já se mostrou favorável na composição de substratos para a produção de mudas de *Pinus Taeda*, em estudo realizado por Maia (1999). Graças também as propriedades geotécnicas do lodo, pesquisas realizadas por Horace *et al* (1997) mostraram que este resíduo, por possuir alta taxa de umidade, um alto grau de compressibilidade e comportar-se como solo orgânico, pode ser utilizado como uma barreira impermeabilizante em aterros, quando misturado com barro.

### 3.3.1 utilização do LPP na indústria de cerâmica vermelha

A extração de argila, embora não seja considerada uma atividade poluidora, degrada o meio ambiente ao devastar as matas e causar o assoreamento de rios (SABBAG E MORITA, 2001). Em contra partida, a indústria de papel gera toneladas de resíduos mensalmente, acarretando nos problemas ambientais já mencionados nesta pesquisa.

Estudos apontam uma grande capacidade de absorção do lodo da produção de celulose e papel por parte da indústria cerâmica graças à similaridade da composição química dos lodos e das argilas comumente utilizadas no processo cerâmico (MENEZES, 2002). Esta prática pode responder às necessidades ambientais apresentadas tanto pela indústria cerâmica (extração da matéria-prima e suas conseqüências) quanto pela indústria de papel (alto volume de resíduos e contaminação do solo).

Dos vários tipos de resíduos que podem ser incorporados às massas cerâmicas, o lodo de papel é classificado como um *resíduo combustível* (MENEZES, 2002). Os resíduos combustíveis são aqueles gerados nos processos industriais que contêm elevado teor de substâncias orgânicas e lhes conferem um alto poder calorífico. A vantagem associada ao uso deste resíduo está na economia energética de até 45%, pois a adição deste resíduo na massa cerâmica funciona como um auxiliar de queima.

Porém, a utilização de resíduos combustíveis na mistura cerâmica pode acarretar o enfraquecimento do corpo cerâmico, como apontado por Menezes (2002), mas também em aumento de características de isolamento térmico e acústico em virtude da porosidade provocada pela volatilização do material. Assim, o autor alerta que quando os resíduos combustíveis são adicionados às massas cerâmicas estes podem provocar uma sensível diminuição da resistência mecânica do corpo e aumento da absorção de água pelo material, associados à formação de grande quantidade de poros com a volatilização do combustível na queima.

A quantidade de resíduo incorporado na massa pode variar, de valores inferiores a 10% a valores em torno de 50%, refletindo diretamente nas propriedades e características do material obtido após a queima. O quadro abaixo apresenta propriedades e

características de tijolos obtidos a partir de formulações com incorporações de resíduos combustíveis, segundo levantamento realizado por Menezes (2002):

Características Cerâmicas	Indústria de Papel	Indústria de Papel*
Teor de resíduo (%)	1 - 50	0 - 15
Técnica de moldagem	Extrusão	Extrusão
Temperatura de queima (°C)	1050	850 - 1050
Absorção de água (%)	10 - 26	2 - 17
Retração de queima (%)	14 - 22	-0,25 - 4,40
Resistência à flexão (MPa) após queima	-	5 - 24

\*Lodo com elevado teor de sulfato de bário

Tabela 2: Propriedades dos tijolos em função da adição de resíduo  
Fonte: Alleman (1989); Mesaros *et al.* (1989); Neves (2002); *apud* Menezes (2002)

Segundo Menezes (2002), a elevada porosidade (expressa pela absorção de água) causada por uma porcentagem maior de resíduo adicionado à massa conduz a baixos valores de resistência, sendo um fator decisivo no êxito dos produtos em qualquer aplicação cerâmica.

Outro estudo realizado por Pinheiro *et al* (2008) mostrou resultados positivos na adição de 10% de resíduo na composição da massa cerâmica para a fabricação de blocos de vedação.

Já Wolff *et al* (2007), sugere uma total substituição da cerâmica pelo lodo de papel juntamente com outro resíduo da mesma indústria (dregs) na formulação de massas argilosas destinadas à produção de material semelhante à cerâmica vermelha, com o emprego de outros materiais desplastificantes ou emagrecedores, como a mica, areia,



chamote e pó de carvão. Este novo material também é submetido à queima, e o resultado é um material similar à cerâmica.

### 3.4 Cerâmica – Matérias-primas

Segundo Norton (1973), as argilas são silicatos naturais constituídos predominantemente por argilo-minerais e que tornam-se plásticos quando umedecidos. Os argilo-minerais são os minerais característicos das argilas, podendo ser caulinita, illita, motmorilonita, haloisita, etc. São os argilo-minerais que definem as características e as propriedades das argilas. Quimicamente as argilas são silicatos de alumínio hidratados, podendo conter cálcio, ferro, magnésio, etc. Sua forma mais pura é a caulinita. Sua fórmula molecular é:  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , sendo 47%  $\text{SiO}_2$ , 39%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e 14%  $\text{H}_2\text{O}$ .

Algumas das principais matérias-primas existentes no país e que são utilizadas pela indústria cerâmica podem ser divididas em duas categorias:

- Naturais – Argilas Vermelhas, Argilitos, Siltitos, Filitos, Agalmatolitos, Caulins, Talcos, Feldspatos, Quartzos, Calcários.
- Beneficiadas – Filitos, Agalmatolitos, Caulins, Talcos, Feldspatos, Magnesitas, Argilas Refratárias, Alumina, Chamotes.

Geralmente as argilas são acompanhadas de impurezas, tais como: sílica livre

(areias), mica, feldspatos, calcários, óxido de ferro, rutilo, pinta, sulfatos, matéria orgânica, etc. As impurezas agem alterando as propriedades e o comportamento físico-químico (contração, cor, resistência mecânica, dilatação, ponto de fusão, plasticidade, etc.).

Para uso em porcelana e produtos cuja cor de queima deva ser clara, os teores de ferro e titânio devem ser baixos.

Conforme sugerido por Motaa *et al* (2004), as argilas podem ser classificadas em dois grandes grupos principais, segundo a sua aplicação na indústria:

- cor de queima (principal característica);
- mineralogia (característica secundária).

Norton (1973) acrescenta ainda o critério de porosidade como um terceiro grupo de classificação das argilas. Esse critério é especialmente utilizado para classificar os produtos de Cerâmica Branca. A porosidade fina de uma peça é o resultado da composição química, da mistura cerâmica e da temperatura de queima adotada. Com relação à porosidade, existem algumas classificações:

- Faiança: porosidade aparente entre 5 à 15%. Ex.: louça doméstica e artística, objetos de adorno, etc.
- Grês: porosidade aparente entre 2e 0%. Ex.: aparelhos sanitários, peças para aplicação industrial, pastilhas e revestimentos para piso, etc.
- Porcelana: porosidade aparente entre 0,5 e 0%. Ex.: produtos de mesa,

produtos para decoração, produtos para aplicação em laboratórios químicos, isoladores elétricos, etc.

Por caracterizar-se como um aspecto facilmente reconhecido, a cor da argila depois da queima identifica o nicho industrial e o tipo de produtos por ele produzidos. As argilas de queima avermelhada são utilizadas para a produção de placas cerâmicas de revestimentos avermelhados, tijolos e outros produtos para fins estruturais, peças utilitárias e de decoração de corpo avermelhado. As argilas de queima clara, ou caulínicas são empregadas na produção de porcelana técnica, porcelana e faiança utilitária e artística e na fabricação de cerâmica sanitária.

As argilas de queima clara possuem esta coloração graças ao baixo teor de óxidos corantes. Sua plasticidade não é muito elevada, e a presença elevada de matéria orgânica coloidal (partículas pequenas o suficiente para não se depositarem pela ação da gravidade e manterem-se em suspensão) favorece o emprego da fundição por colagem (massa líquida de argila despejada em moldes de gesso) como principal processo produtivo (MOTAA *et al*, 2004). Essa característica é essencial para o sucesso de processos de colagem lentos como é o caso da louça sanitária.

Para obtenção de propriedades específicas são utilizadas matérias-primas tais como carbonatos (calcita e dolomita), óxidos e hidróxidos. As massas para cerâmica branca podem ser consideradas como misturas triaxiais, uma vez que podem ser formuladas utilizando-se apenas 3 tipos de matérias primas: argilas/caulins, quartzo e feldspato (NORTON, 1973). A seguir as matérias-primas mais utilizadas na cerâmica branca serão apresentadas:

- Argilas – Conferem plasticidade às massas. Devem apresentar

até 3% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$ , definindo, portanto, a cor de queima (branca).

- Quartzo – Age como desplastificante, altera e define as propriedades térmicas e mecânicas das massas.
- Feldspato – É um fundente. Favorece a formação de fase vítrea nas massas.

### 3.5 Louças de pasta branca

A pasta de louça tem sido utilizada ao longo dos séculos para a fabricação de toda sorte de objetos domésticos, tais como jarros, bacias, artigos decorativos, brinquedos assim como peças para o uso religioso. Na atualidade, a louça é utilizada para a fabricação de cerâmicas tanto funcionais como decorativas. A pasta de louça pode ser branca, rosa, cinza claro ou cor de canela, e coze a temperaturas que podem variar entre  $900^\circ$  e  $1400^\circ$  (CLARK, 1984)

As louças de pasta branca são aquelas cuja massa é pouco ferruginosa e permite o emprego de coberturas incolores. Segundo a composição das pastas, as louças brancas podem ser divididas em:

- *Cailloutage* – argila pouco gordurosa com sílica;

- Terra de Pipa – além dos elementos que compõem a pasta branca, esta contém certa proporção de cal;
- Louça Silícea – cujo proporção de sílica é ainda maior que nas outras massas;
- Maiólica – de composição variável;
- Louça Feldspática – que contém uma base ou álcalis.

A louça resultante da classe das maiólicas é chamada de “louça aberta” por ser porosa. Essa porosidade exige um vidrado para garantir a sua integridade. No passado se buscava uma semelhança entre a louça maiólica e a porcelana branca através de adições e subtrações de elementos na pasta e variação de temperaturas (VITTEL, 1978). Essas experimentações com a pasta de maiólica resultaram em variações interessantes, como a maiólica sanitária, uma massa de cor clara cuja porosidade é baixa e frequentemente utilizada na fabricação de produtos destinados à indústria de louça sanitária.

### 3.5.1 Maiólicas

A palavra Maiólica provavelmente tem suas origens na ilha espanhola de Mallorca, importante produtora e exportadora deste tipo de cerâmica, e serve para

designar produtos muito diversos. De uma forma mais ampla, pastas maiólicas podem determinar todas as louças de ornamentação decoradas, qualquer que seja a sua natureza. Após o cozimento, porém, estas pastas permanecem brancas, com uma ligeira coloração rosada ou cinza claro.

Estas pastas podem ser compostas de sílica, argila e greta (carbonato cálcico), ou também podem conter um fundente alcalino-calcário como um vidro triturado ou uma frita especialmente composta. Muitas pastas maiólicas são compostas por pastas de louças feldspáticas.

Cada classe de composição das maiólicas tem propriedades distintas. Se o objetivo é buscar um efeito decorativo, se dará preferência às composições com mais sílica, por que estas composições permitem uma aplicação de esmaltes alcalinos de tonalidades muito marcantes. Já se a busca for por uma maior solidez, são preferíveis as louças feldspáticas. As mais econômicas são as pastas calcárias que são cozidas a temperaturas mais baixas.

Na preparação da pasta, dá-se preferência pelo procedimento por via líquida. A confecção dos objetos se faz por molde e a queima pode se dar em duas etapas, a primeira em fornos grandes, tomando-se o cuidado para evitar a formação de manchas que podem ocorrer devido ao contato com as cinzas resultantes da queima. A segunda queima se dá em fornos menores, nos quais as peças são cozidas em grupos.

De acordo com Vittel (1978), as louças maiólicas podem ser divididas em cinco grupos principais, segundo sua constituição, a dureza de sua pasta, a temperatura de seu cozimento e o seu emprego. São eles:

- maiólica dura
- maiólica mista
- maiólica branda
- maiólica sanitária
- baldosas de maiólica.

A composição racional das pastas de maiólicas mais usuais se encontra abaixo:

Fórmulas Gerais			
Constituintes	Maiólica dura	Maiólica mista	Maiólica branda
Caolinita	40 – 55%	40 – 55%	45 – 55%
Quartzo	42 – 52%	40 – 48%	30 – 45%
Feldspato	3 – 8%	0 – 4%	–
Greda	0 – 3%	4 – 8%	10 – 30%
Cozimentos:			
Biscoito	1.100 – 1.300°	1.050 – 1.180°	960 – 1.080°
Vidrado	1.050 – 1.180°	1.000 – 1.100°	960 – 1.080°

Tabela 3 – Fórmulas gerais das pastas de maiólicas, conforme Vittel (1978).

### 3.5.2 A maiólica sanitária

Os produtos sanitários produzidos com uma pasta de maiólica tendem a possuir uma massa com grandes concentrações de chamote (argila refratária triturada). A composição desta massa se assemelha a da maiólica dura.

Para Vittel (1978), as maiólicas sanitárias só sofrem um cozimento, entre 1250° e 1300° C.

A fórmula da pasta de maiólica sanitária sugerida por Vittel (1978, p.50) é a seguinte:

- 60% de caolinita na forma de: 38% de argilas e caolin (60% dos 38% formadores da caolinita é de argilas, 40% de caulim), 22% de chamote
- 10% de feldspato
- 30% de quartzo



### 3.6 Louça Sanitária

Os primeiros artigos sanitários eram fabricados com uma pasta de chamote e argila refratária que resultava em uma estrutura bastante porosa. Isso dificultava a correta aplicação de um vidrado, já que era quase seguro que a longo prazo a superfície apresentaria gretamento. No princípio do século XX, a maioria dos fabricantes adotou uma pasta branca vítrea (TANNO *et al*, 2003).

Na América do Norte, as primeiras peças eram moldadas à mão em moldes de gesso, mas depois da crise de 1922, foi introduzida a pasta de colada de barbotina que economizava mão de obra.

Para Tanno *et al* (2003), no Brasil, a indústria cerâmica de sanitários surgiu na década de 20 resultante da fusão de duas indústrias cerâmicas, uma especializada em produtos refratários de cerâmica vermelha e a outra em produtos de cerâmica branca de mesa. Antes disso, as louças sanitárias consumidas no mercado interno brasileiro eram todas importadas do continente europeu. A indústria pioneira no Brasil na fabricação de louças sanitárias brancas vítreas foi a Companhia Cerâmica Jundiahyense. Em 1968, esta empresa une-se com a Artefatos de Metais Deca, e em 1972 é incorporada ao grupo Duratex.

Em meados da década de 1940 foi fundada a Cerâmica Colônia, em Jundiaí, que introduziu no mercado brasileiro a louça sanitária colorida. Esta mesma empresa foi posteriormente adquirida pela multinacional americana Ideal Standard, que pertence ainda ao grupo American Standard, que é o maior fabricante mundial de metais e louças

sanitários.

Mas não foi antes da década de 70 que o setor cerâmico desenvolveu-se plenamente, graças ao crescimento da indústria civil. As empresas concentravam-se na região sudeste do país, porém atualmente o setor cerâmico sanitário está presente em 3 regiões brasileiras e conta com o número de 18 unidades fabris (TANNO *et al*, 2003).

### 3.6.1 Panorama da indústria de louça sanitária

A indústria de louça sanitária no mundo produziu cerca de 150 milhões de peças no ano de 1999 (TANNO *et al*, 2003) e os maiores produtores mundiais são a China, Brasil, Itália, Estados Unidos e Espanha. Estes países representam 70% da produção mundial de artigos de louça sanitária, que é concentrada nas mãos de 10 grupos empresariais. Essas empresas detêm a fatia de 57% da produção mundial (TANNO *et al*, 2003).

O segmento industrial de louças sanitárias no Brasil é concentrado pelo grupo Roca, de origem espanhola, cujas empresas Celite, Logasa e Incepa fazem parte. O grupo Roca é responsável por 50% da produção nacional.

Segundo dados levantados pelos autores, a produção brasileira em 1999 foi de 13,7 milhões de peças fabricadas, com um faturamento estimado de R\$ 337 milhões e gerando mais de 5 mil empregos diretos. Ainda de acordo com os autores, a capacidade instalada da indústria de sanitários brasileira é estimada em 1.500.000 de peças ao mês,

ou 18 milhões de peças produzidas ao ano. O gráfico abaixo mostra a divisão do mercado brasileiro pelas principais empresas produtoras de louça sanitária no país:

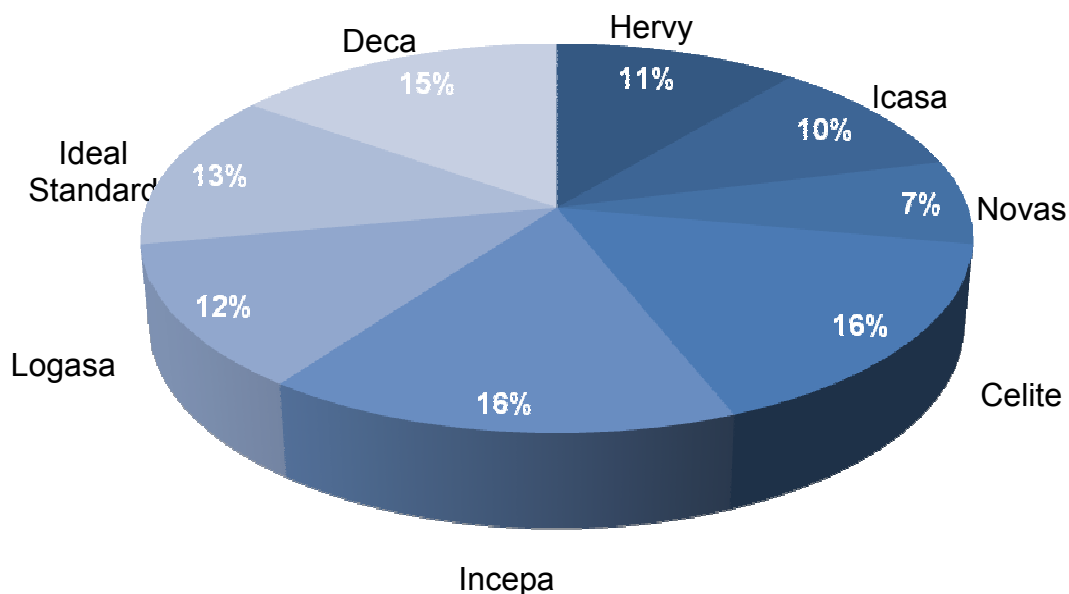


Gráfico 3 – Participação das empresas produtoras de louça sanitária no Brasil.  
Adaptado de Tanno *et al* (2003).

As indústrias produtoras de louça sanitária no Brasil encontram-se principalmente na região Sudeste, onde estão 80% das empresas do país. A região nordeste que participa com aproximadamente 15% e a região sul com 5% (Figura 2).

Segundo o autor, a maior parte da produção brasileira é absorvida pelo mercado interno, mas há um avanço das exportações, que totalizaram em 2003 12% de toda a produção nacional. Os principais destinos da louça sanitária brasileira são os continentes americano, europeu e africano.

As empresas brasileiras seguem um rígido padrão de qualidade, e algumas até detêm a certificação ISSO 900, versão 9003. Os produtos fabricados no Brasil vão desde peças para consumo popular à equipamentos sanitários de alto luxo, atendendo as necessidades da maioria dos anseios dos consumidores (TANNO *et al*,2003).

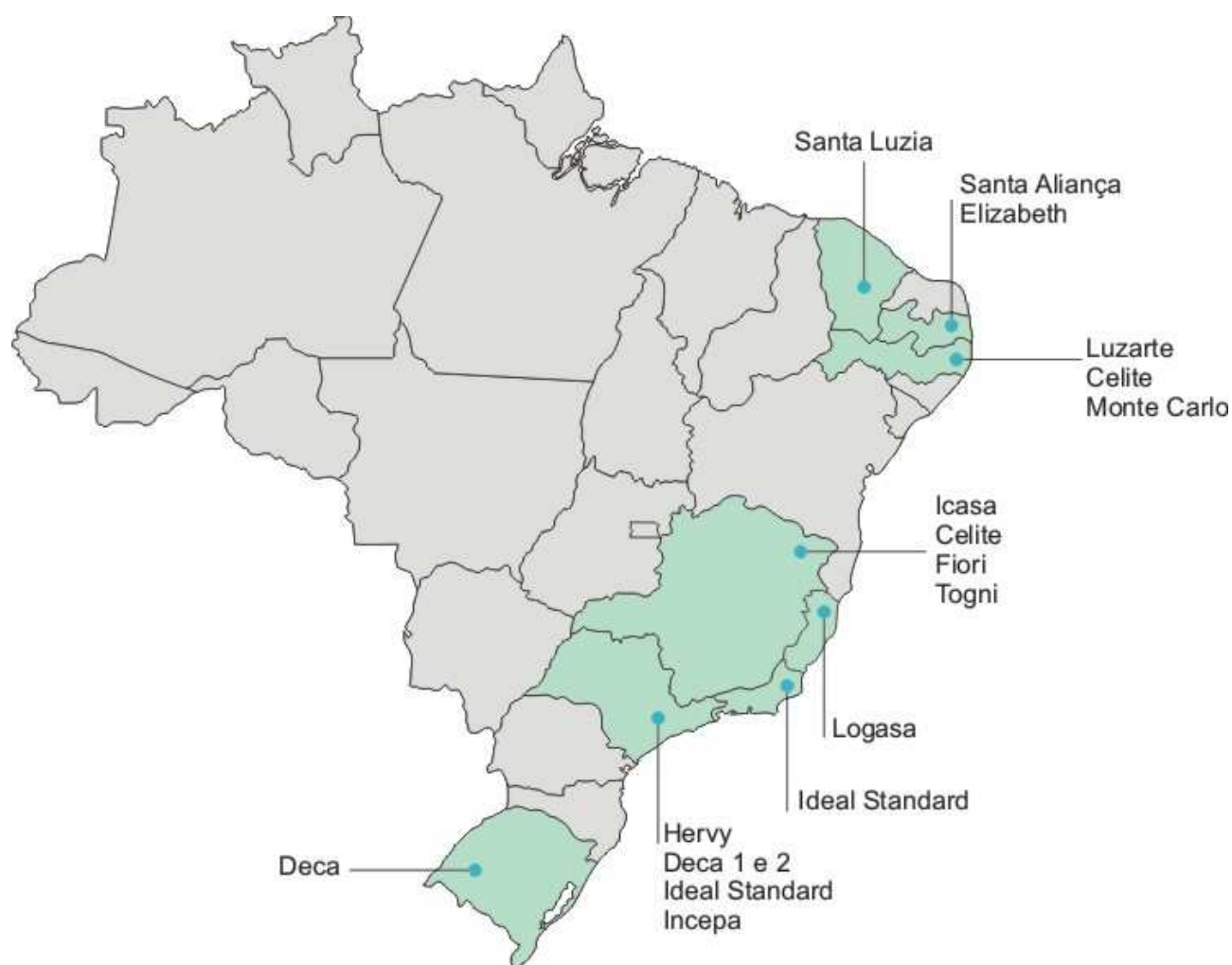


Figura 2 – Distribuição das empresas fabricantes de louça sanitária no Brasil, adaptado de Tanno *et al* (2003).

O autor também destaca o aparecimento de pequenas empresas produtoras de louça sanitária no país, voltadas à fabricação de peças de baixo custo, e representam um

importante passo na conquista de espaço na fabricação de produtos para as classes sociais mais baixas.

O Sindicerâmica (*apud* TANNO *et al*, 2003) prevê um crescimento no setor de sanitários no país e projeta para 2010 um volume de 5,7 milhões de peças exportadas. Um obstáculo para a expansão das importações, como aponta o autor, é a carência de suprimento qualificado de matérias- primas, que exige o desenvolvimento de jazidas e beneficiamento de argila com alta qualificação tecnológica. Caso isso ocorra, esta nova situação pode atrair fornecedores especializados e estes fabricarem massas cerâmicas completas ou fração uma delas (TANNO *et al*, 2003).

### 3.6.2 Processos produtivos

A composição da pasta de louça sanitária varia segundo as diversas fábricas. Pode variar também até dentro de uma mesma empresa que possui plantas fabris localizadas em regiões diferentes. Isso se deve ao fato das empresas sempre buscarem por matérias-primas de baixo custo e tentarem adaptar a sua massa às qualidades minerais da região em que esta se localiza, evitando assim que haja despesas relacionadas com a compra e o transporte de matérias-primas. O branco da pasta que se obtinha no passado agora foi substituído por uma massa mais escura, que pode variar entre o marfim, a cor creme e o cinza-terroso claro, resultado de matérias-primas mais baratas e de vidrados opacos aplicados na superfície (NORTON, 1983). Há um esforço das empresas por baixar as

temperaturas de maturação das massas a fim de aumentar a produção e diminuir os custos da queima.

Depois de triturados e peneirados, os materiais são armazenadas em grandes silos e são transformadas em pasta líquida, denominada barbotina, em grandes batedores. No interior destes batedores uma solução alcalina (fluidificante) dispersa em 30% de água é adicionada e espera-se pela hidratação dos materiais. Um eletro-ímã pode ser utilizado para reter as partículas de ferro da massa para evitar que esta adquira um tom avermelhado depois da queima (VITTEL, 1978). Controla-se a quantidade de defloculante e de sulfato que conferem à pasta boas qualidades de molde. A barbotina é armazenada em grandes depósitos, de onde é bombeada para a seção de moldes.

O processo de molde principal é a “colada”, que é um método relativamente fácil de se obter peças ocas como garrafas. Um esquema desse processo encontra-se ilustrado abaixo:

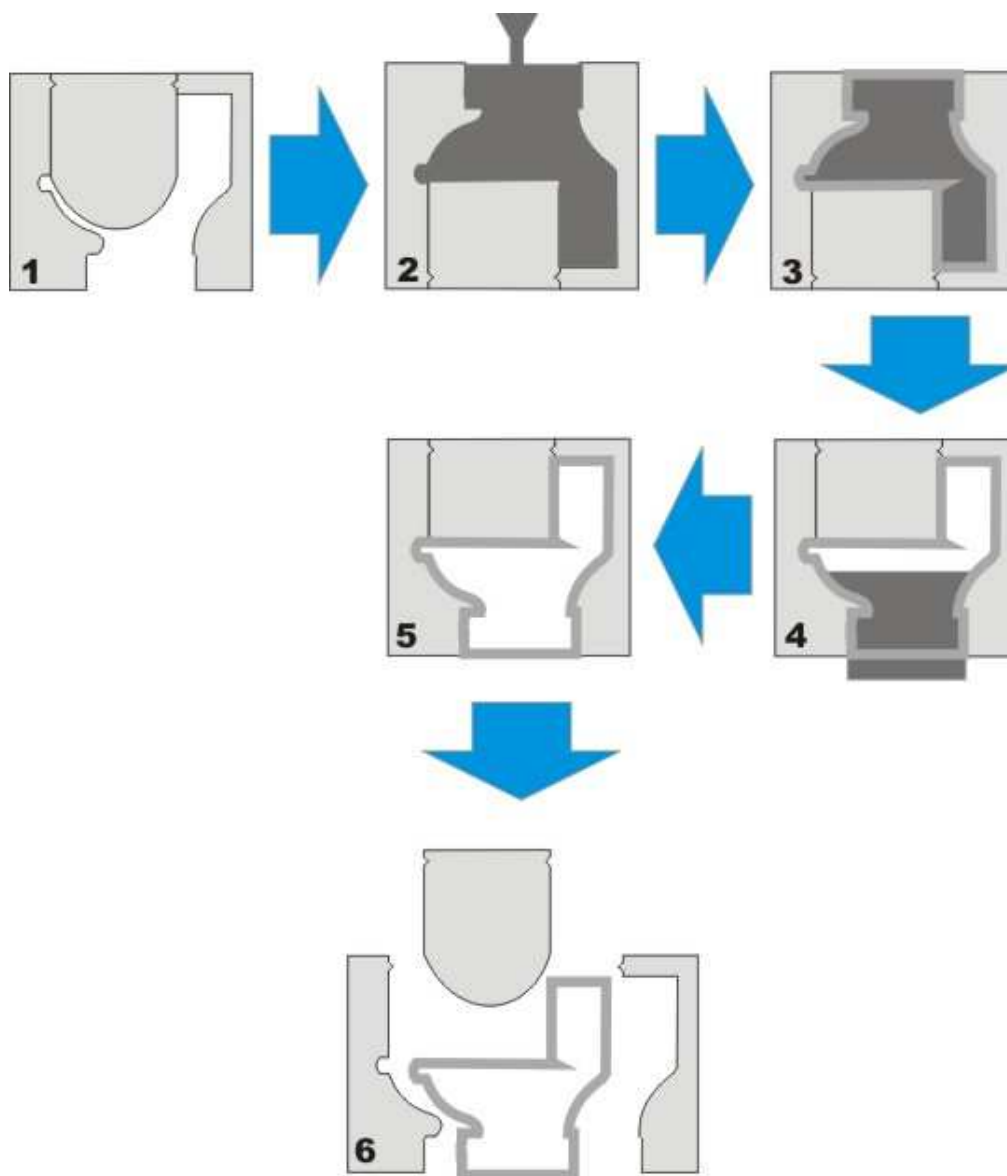


Figura 3 – Processo de molde colado.  
FONTE: Arquivo pessoal.

Um molde de gesso ou resina plástica porosa é preparado nas dimensões determinadas prevendo-se o percentual de encolhimento da massa (1). A barbotina, ou pasta líquida é vertida no interior do molde por mangueiras que bombeiam o líquido dos depósitos (2). O molde é mantido nesta posição até que se forme uma fina casca nas paredes de gesso (3). O molde é invertido verticalmente e o excesso de barbotina escorre para um tanque para ser reutilizado em outra peça (4). A peça encontra-se pronta

(5) e é liberada do molde (6). Depois de vazadas no molde, as peças são retiradas em aproximadamente 24 horas.

Os moldes nas indústrias duram em média de 60 a 100 operações, sendo substituídos depois que alcança esse limite de produção (NORTON, 1983). Somente as peças simples podem ser moldadas em uma única peça. Caso haja necessidade, as diferentes partes são unidas com uma pasta especial chamada “pega”. Com as peças ainda frescas são realizados pequenos reparos de defeitos visíveis nas superfícies e então estas seguem para a secagem.

Durante a secagem, as peças são introduzidas em um secador que faz circular um ar quente e úmido. Esta operação exige umas 40 horas. Após a secagem, um engobe branco é aplicado com pincel ou por vaporização. O vidrado utilizado corresponde à mesma fórmula do vidrado de uma porcelana e pode ser aplicado sobre o engobe de forma manual ou mecanicamente.

Depois de secas e com o engobe e vidrado aplicados, as peças seguem para a cocção. Grande parte das peças de louça sanitária são queimadas em grandes fornos de túnel de mufla ou em fornos de níveis, em temperaturas que podem atingir até 1400°. O tempo de ciclo de queima pode variar, e há empresas que conseguem completar seu ciclo em apenas 10 horas. As rachaduras no vidrado devido ao resfriamento rápido ou a massas cujo coeficiente de dilatação é muito elevado são um desafio para a indústria (NORTON, 1983).

Em uma instalação eficiente, cerca de 80% das peças que saem do forno são aceitáveis (NORTON, 1983). Dos 20% restantes, 6% correspondem a defeitos irrecuperáveis como rachaduras. Os outros 14% são recuperáveis, mas precisam de uma



nova aplicação de vidrado e uma nova queima, desta vez com uma temperatura inferior. Dos 14% por cento que foi recuperado, cerca de 10% é aceitável, 2% são irrecuperáveis e os outros 2% voltam para uma nova queima. No final, só é vendida 92% da produção que entra no forno (NORTON, 1983).

Os defeitos são numerosos, mas em sua maioria tratam-se de gretamento da superfície (pequenas ranhuras), poros e outros defeitos relacionados ao vidrado. Desta forma a massa cerâmica e o vidrado precisam estar bem ajustados para que tais defeitos não ocorram. As razões para que isso aconteça podem ser muitas, desde a falta de habilidade do operário no controle dos equipamentos ou ineficiência da instalação (NORTON, 1983).

Um esquema mais detalhado do processo de fabricação da louça sanitária encontra-se a seguir:

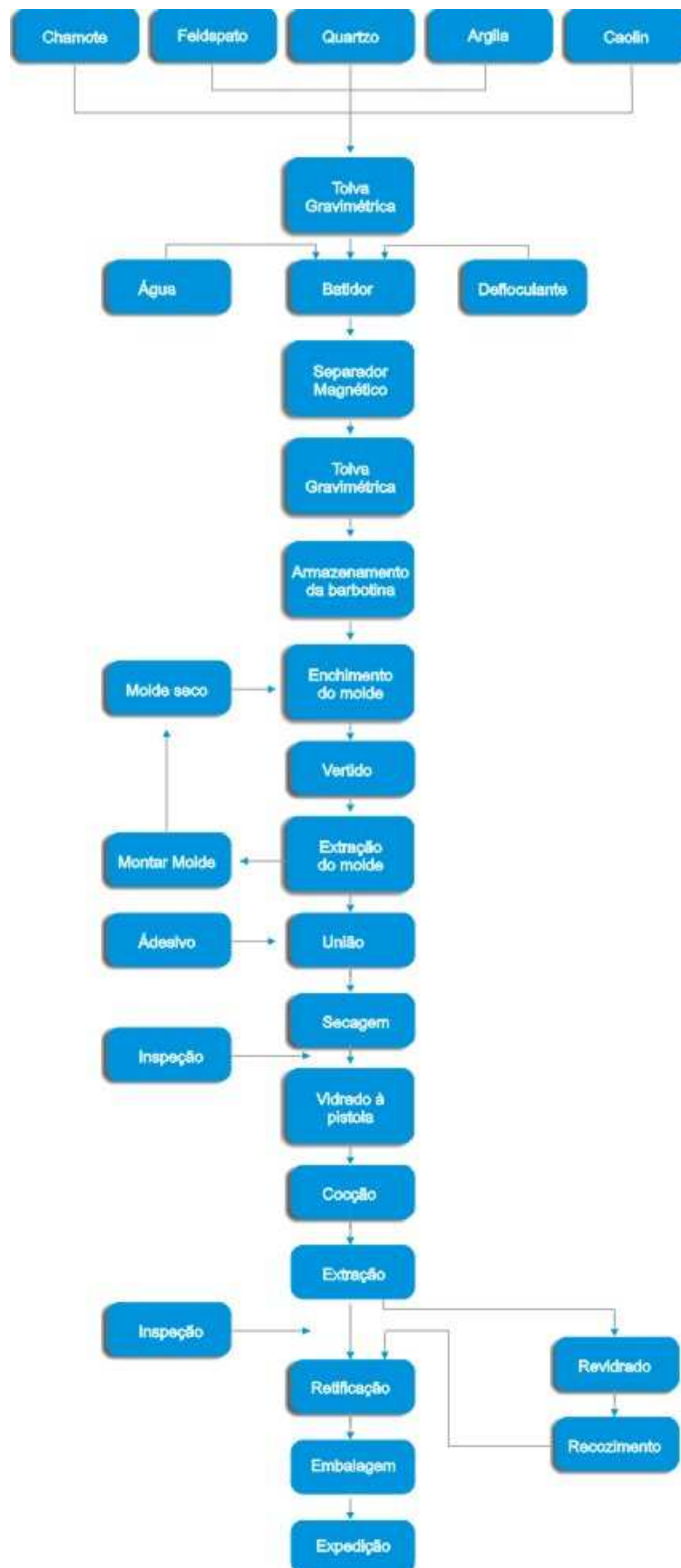


Gráfico 4 – Fluxograma do processo de fabricação da louça sanitária.  
FONTE: Norton (1983).

As exigências de um mercado em expansão e a busca pela redução de custos e uma situação de mercado mais competitiva levou as indústrias a procurarem por alternativas mais eficientes de produção, como é o caso do processo de colagem sob pressão, que torna possível mecanizar e automatizar todo o processo de produção de louça sanitária (CINO E BRÖTZ, 1996).

Graças a este inovador processo de produção, o aproveitamento das peças é de quase 10% acima dos valores alcançados com a fundição convencional em moldes de gesso. Outras vantagens seriam ainda o consumo reduzido de energia no processo, o número de peças reproduzidas por um único molde (50.000, enquanto um molde de gesso comum reproduz no máximo 100 peças) e a total mecanização da linha de produção. (CINO E BRÖTZ, 1996).

O processo utiliza as matérias-primas secas em pó (com umidade em torno dos 17%), como na indústria de revestimentos, e aplica mecanicamente este pó em moldes sob pressão. Após a desmoldagem as peças seguem por uma esteira até estações de secagem, com temperatura e umidades controladas. O processo de secagem envolve uma complexa combinação de umidade, temperatura e velocidade do ar, que ajudam a peça a ser uniformemente seca durante o tempo em que esta encontra-se na estação (CINO E BRÖTZ, 1996).

Da etapa de secagem as peças seguem para cabines individuais de esmaltação, com mesas giratórias e braços robóticos programáveis, onde as peças são individualmente esmaltadas uniformemente por vaporização.

O processo de queima se dá em queimadores rápidos em um ciclo de queima de 10 a 15 horas.

## 4- DESENVOLVIMENTO

### 4.1 Projeto do experimento

O projeto funcional das peças de louça para o banheiro implica em considerações tais como a altura dos equipamentos, o espaço disponível no banheiro para as peças, a hidráulica e controles. (NORTON, 1983) Um primeiro estudo exaustivo do ambiente sanitário foi patrocinado pela empresa americana Ideal Standard Inc. em meados do século XX, que serviu de base para a fabricação dos artigos sanitários até então. Posteriormente, diferentes países buscaram suas próprias padronizações, como é o caso do Brasil, e o resultado neste país foi o conjunto de normas brasileiras (NBR) relacionadas aos aparelhos sanitários de material cerâmico emitidas nas séries ABNT NBR 6463:1985, ABNT NBR 9059:1985, ABNT NBR 6452:1997, ABNT NBR 9060: 1997 e ABNT NBR 13819:1997.

Em 2004 foi elaborada, pelo Comitê Brasileiro de Construção Civil (ABNT/CB-02) que compôs a Comissão de Estudo de Aparelhos Sanitários de Material Cerâmico (CE-02:110.19), a norma ABNT NBR 15097, que cancelou e substituiu as normas anteriores.

A norma ABNT NBR 15097 descreve detalhadamente os requisitos e métodos de ensaio aos quais os aparelhos sanitários devem ser submetidos para a sua aprovação e comercialização. Os requisitos gerais exigidos pela norma são:

- Material – a norma estabelece os materiais empregados na fabricação de louça sanitária, bem como a temperatura de queima das peças.
- Acabamento de superfície – avalia os defeitos superficiais dos aparelhos sanitários.
- Dimensões – determina valores como espessura de parede, dimensões gerais e tolerância a empenamentos.
- Marcação e instruções ao consumidor – estabelece o local e forma de identificação do fabricante, modelo do aparelho, consumo de água; instruções de instalação e operação.

A partir dos requisitos gerais, a norma desdobra-se em objetivos específicos, que estão associados a ensaios laboratoriais com metodologias detalhadamente descritas. Os requisitos específicos são:

- Absorção de água do material cerâmico;
- Resistência ao gretamento da superfície esmaltada;
- Resistência mecânica dos aparelhos sanitários;
- Funcionamento das bacias sanitárias;
- Volume de água consumido por descarga;
- Reposição do fecho hídrico;

- Remoção de esferas;
- Lavagem da parede (linha de tinta);
- Remoção de grânulos;
- Respingos de água;
- Transporte de sólidos;
- Remoção de mídia composta.

Esta pesquisa utilizará a metodologia de ensaio para absorção de água pelo material cerâmico descrita na norma ABNT NBR 15097, com o objetivo de determinar a quantidade máxima de resíduo tolerada pela massa sem que esta ultrapasse os limites estabelecidos pela mesma NBR.

## 4.2 O Ambiente

Para a realização deste experimento, o ambiente utilizado para tal foi o Laboratório de Cerâmica de Design de Produto do IFSC (Instituto Federal de Santa Catarina) em Florianópolis – preparo, queima das amostras e ensaios de absorção.



Figura 4 – Laboratório de Cerâmica do IF-SC e os equipamentos utilizados.  
FONTE: arquivo pessoal.

Os equipamentos utilizados foram:

- Forno Elétrico Jung J200;
- Dessecador;
- Estufa para secagem e esterilização DeLeo;
- Fogareiro elétrico;
- Balança digital BD 330 Instrutherm.

### 4.3 O ensaio

O objetivo do ensaio proposto pela norma ABNT NBR 15097:2004 é determinar a absorção de água do material cerâmico utilizado na fabricação de aparelhos sanitários.

Nela, a metodologia determina que três corpos-de-prova com dimensões aproximadas de 32 cm<sup>2</sup> e espessura não superior a 16 mm devem ser extraídos de locais



diferentes e afastados do mesmo aparelho sanitário. Uma das faces maiores dos corpos-de-prova precisa ser esmaltada.

A partir da obtenção dos corpos-de-prova, a aparelhagem necessária para o ensaio é:

- estufa;
- dessecador;
- balança;
- água destilada ou deionizada.

#### 4.4 Metodologia do experimento

Retira-se dos corpos-de-prova por meio de uma escova o pó e outras partículas soltas presentes na superfície da peça. Seca-se então os corpos-de-prova na estufa à temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  até massa constante (evaporação total da umidade) e em seguida deixa-se esfriar no dessecador.

Determina-se então a massa de cada corpo-de-prova seco com aproximação de 0,01g.

Após a pesagem, os corpos-de-prova são imergidos em um recipiente com água destilada de modo que fiquem na posição vertical separados um do outro e que não toquem o fundo do recipiente. Eleva-se então a temperatura da água até a sua ebulição e mantêm-se esta temperatura por 2 horas e em seguida deixa-se esfriar durante 24 h.

Após o resfriamento, retira-se por meio de um pano úmido o excesso de água das superfícies dos corpos-de-prova e faz-se a pesagem novamente, com aproximação de 0,01g.

A absorção de água de cada corpo-de-prova é expressa percentualmente pelo quociente entre a massa de água absorvida pelo corpo-de-prova quando saturado ( $m_{(u)}$ ) e a massa do corpo-de-prova seco ( $m_{(s)}$ ), expressa pela fórmula a seguir:

$$A = \frac{(m_{(u)} - m_{(s)})}{m_{(s)}} 100$$

A média dos valores de absorção dos 3 corpos de prova não deve ser superior a 0,75%.

#### 4.5 Teste Piloto – ajuste da massa, temperatura, encolhimento, vidrado.

Algumas outras variáveis são importantes neste experimento além da absorção de água, e antes que este seja realizado é necessário fazer alguns ajustes no que tange a

essas variáveis. O esquema a seguir descreve as variáveis envolvidas neste experimento:

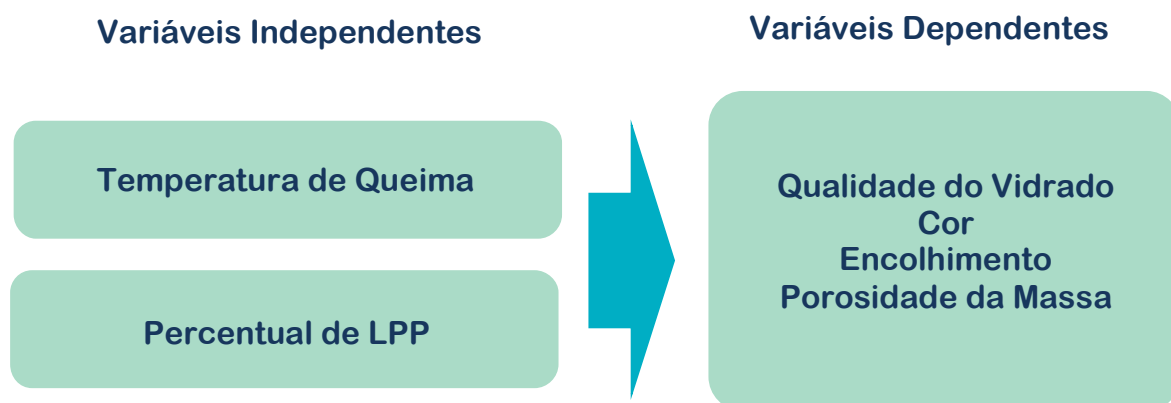


Gráfico 5 – Descrição das variáveis independentes e dependentes.

Cada uma das variáveis dependentes serão abordadas a seguir, assim como os procedimentos adotados para a realização dos ajustes necessários.

#### 4.5.1 Temperatura de queima

Determinar a temperatura de queima de um corpo cerâmico implica em saber em que temperatura a argila torna-se cerâmica e quais as influências da variação de temperatura de queima sobre o corpo cerâmico. As matérias-primas utilizadas na fabricação do corpo cerâmico determinarão a sua temperatura de queima. Uma temperatura muito baixa poderá resultar em um corpo cerâmico muito poroso e frágil,

enquanto uma temperatura muito alta poderá deformá-lo.

Neste experimento foi utilizada uma fórmula de louça sanitária trabalhada por VITELL (1978) que será apresentada a seguir.

A norma da ABNT relativa à louça sanitária define que a temperatura de cozimento das peças deve estar compreendida entre o intervalo de 900° e 1250°. Já Vittel (1978) sugere que a louça sanitária de maiólica, cuja fórmula foi adotada para este experimento, deve ser cozida entre 1200° e 1350°. A partir destas informações buscou-se primeiramente ajustar a temperatura para obter:

- qualidade do vidrado;
- cor de queima clara, característica da louça sanitária;
- encolhimento satisfatório;
- Porosidade da massa.

Verificou-se que até 1100° a composição permaneceu porosa e empoeirada, de constituição frágil e quebradiça; características típicas de uma peça que não sofreu uma queima completa. Aos 1200°, porém, o resultado foi um corpo mais uniforme, não quebradiço. Aos 1300° a peça se assemelhou ao grés, compacta.

#### 4.5.1.1 Qualidade do vidrado

A adaptação entre o vidrado e a pasta é com certeza uma das maiores dificuldades encontradas pelos ceramistas (VITTEL, 1978).

Durante o cozimento, os vidrados em fusão se aderem perfeitamente à pasta, mas no momento do resfriamento acontecem tensões internas. Quando o vidrado não sofre uma tensão exagerada, a adaptação é boa. No caso de sua dilatação ser maior que a da pasta, se produz um craquelamento no processo de resfriamento. Este defeito, um dos mais comuns, se apresenta na forma de uma rede de ranhuras visíveis sobre o vidrado.

Outros defeitos também podem se apresentar devido a uma série de variáveis, que vão desde a não compatibilidade da pasta com o vidrado à temperatura e tempo de queima.

Elemento essencial do processo de produção da cerâmica sanitária, o vidrado pode influenciar também nos resultados do ensaio de absorção, já que as imperfeições na superfície vidrada podem contribuir para uma maior absorção de água durante o experimento.

Para o vidrado, foram escolhidos dois esmaltes, um transparente com alto teor de chumbo e com queima de até 1300°, e outro branco, alcalino, com queima de até 1300° também. Para que o corpo resultante tenha a cor branca final desejada, verificou-se que a partir dos 1250° seria interessante a aplicação do esmalte branco, uma vez que o engobe branco aplicado sobre a peça e visível sob o vidrado transparente escurecia com o

aumentar da temperatura.

Os esmaltes em pó foram misturados com cola CMC para melhor aderirem na peça. A cola CMC foi preparada segundo instruções do fabricante, na proporção de 1 litro de água com uma colher de sopa rasa misturado em um processador, deixando descansar por 1 dia. Cada medida do esmalte em pó deve ser misturado com uma medida de cola CMC.

#### 4.5.1.2 Resultados

Em algumas peças, principalmente naquelas queimadas a  $1100^{\circ}$ , observou-se o craquelamento da superfície. Vittel (1978) sugere que este problema pode ser corrigido aumentando-se a temperatura e o tempo de cozimento. De fato, queimando as peças a  $1200^{\circ}$  em um ciclo de 10 horas observou-se o desaparecimento do craquelamento na superfície do vidrado transparente (figura 5).

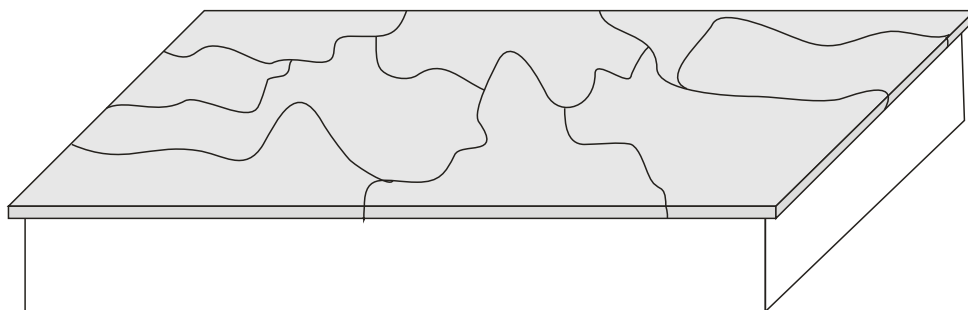


Figura 5 – Craquelamento da superfície.  
FONTE: arquivo pessoal

Em algumas peças, principalmente naquelas queimadas abaixo dos 1200°, observou-se o craquelamento da superfície. Vittel (1978) sugere que este problema pode ser corrigido aumentando-se a temperatura e o tempo de cozimento. De fato, queimando as peças a 1200° em um ciclo de 10 horas observou-se o desaparecimento do craquelamento na superfície do vidro transparente.

Nas peças de queima superior a 1200°, o defeito observado inicialmente foi o de “picado” (Figura 6), que é caracterizado pela formação de pequenas bolhas na superfície do vidro que ocorrem em decorrência do desprendimento de gases, que levantam o vidro em fusão e formam crateras, deixando a superfície como uma reprodução da superfície lunar (VITTEL, 1978).

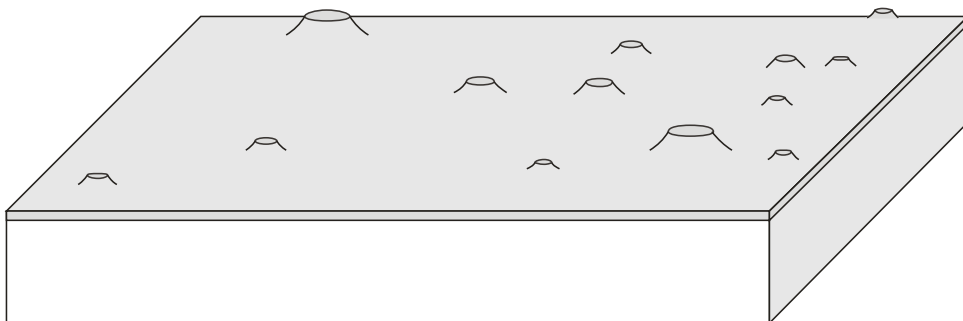


Figura 6 – Efeito de “picado” na superfície esmaltada..

FONTE: arquivo pessoal

Este defeito pode ser corrigido de algumas maneiras, mas a principal causa está na composição do vidro, que pode não suportar temperaturas mais altas que seu ponto de fusão. A solução deste problema, como citado por Vittel (1978) pode estar na

reformulação do vidrado, ou em um cozimento mais prolongado ou até mesmo submeter a peça a uma segunda queima. Repetir a queima não seria interessante, uma vez que no processo de fabricação da louça sanitária a queima é única. Além disso, a energia gasta para aquecer o forno é alta, inviabilizando a repetição do processo. Decidiu-se por aumentar o ciclo de queima de 10 para 12 horas e observou-se uma diminuição do picado na superfície vidrada. Algumas peças apresentaram o vidrado perfeito, e aquelas muito defeituosas foram refeitas.

#### 4.5.1.3 Cor de queima clara

Os primeiros testes foram realizados com a massa sem a adição do lodo, e algumas peças foram queimadas nas temperaturas de 900°, 950°, 1000°, 1050°, 1100°, 1150°, 1200°, 1250° e 1300° e 1350°. Os resultados podem ser descritos no gráfico abaixo:

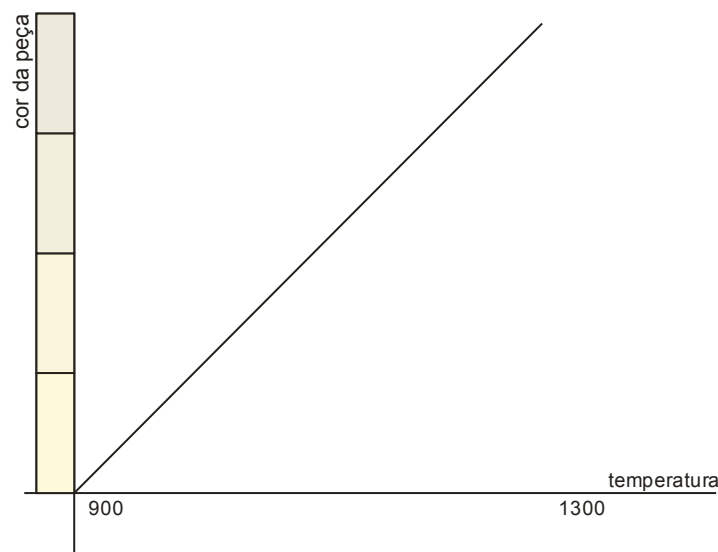


Gráfico 6 – Cor da peça em função da temperatura.



Foi percebido que, aos 900° a queima resultou em uma cor clara, levemente rosada, e que quando a temperatura foi sendo elevada até os 1300° a cor foi se alterando, passando da cor clara a um cinza claro, com pontos mais escuros na superfície. Aos 1350°, o corpo cerâmico adquiriu um tom mais escuro, com pontos quase pretos em toda a sua superfície.

#### 4.5.1.4 Encolhimento



Figura 7 – Estudo do encolhimento da massa.

FONTE: arquivo pessoal

O tamanho dos corpos-de-prova é importante para a realização do experimento, que deve ter o tamanho aproximado de 32 cm<sup>2</sup>, então determinar o encolhimento da massa após a queima é essencial para a aplicação correta da metodologia. Todo corpo cerâmico sofre uma determinada contração ao perder sua umidade, dependendo das matérias-primas empregadas na sua fabricação. Neste caso, foi registrado que entre 1200° e 1300° a queima resultou em um encolhimento que variou entre 9 e

10%, uma diferença não muito significativa para que houvesse a necessidade de fabricar moldes de diferentes dimensões para os corpos-de-prova que seriam queimados em temperaturas distintas (Figura 7). Cabe ressaltar aqui que a adição de agregados como o lodo de papel e eventuais ajustes na composição da massa como aumento ou diminuição de elementos pode interferir também no encolhimento final após a queima, mas esse

estudo não foi realizado.

#### 4.5.1.5 Discussão

De acordo com os resultados obtidos nesta fase, a massa, sem a adição do resíduo de papel, sofre uma queima “ideal” entre 1200° e 1300°, obtendo assim uma cor de massa variando entre rosado e cinza claro. A cor final da massa é importante, pois esta caracteriza em grande parte o tipo de cerâmica utilizada na indústria sanitária. Temperaturas inferiores a 1200° resultaram em uma queima esteticamente mais agradável, com uma massa com um tom quase branco. Porém, a massa ficou quebradiça e empoeirada, características típicas de uma pasta que não sofreu uma queima completa. Acima dos 1200° a massa tornou-se mais uniforme e compacta com um encolhimento compreendido entre o intervalo de 9% a 10%. Já o limite máximo foi ajustado para 1300°, uma vez que aos 1350° a peça já demonstrava sinais de deformação devido às altas temperaturas. Desta maneira, o intervalo entre 1200° e 1300° mostrou-se viável. Para facilitar o estudo, as temperaturas estabelecidas para o experimento final foram de 1200°, 1250° e 1300°.

. O experimento então se dará com corpos de prova queimados em três temperaturas, 1200°, 1250° e 1300°, com variação de vidrado e tempo de queima estabelecido em 12 horas.

#### 4.5.2 Percentual de LPP

Para a confecção dos corpos-de-prova utilizou-se uma fórmula genérica de pasta de maiólica sanitária sugerida por Vittel (1978, p.50), que é:

**60% de caolinita na forma de: 38% de argilas e caolin, 22% de chamote  
10% de feldspato  
30% de quartzo**

As matérias-primas cerâmicas variam de acordo com as características geológicas de cada região do globo, desta maneira, a fórmula deverá sofrer ajustes para se adequar às características da geologia desta região do país, e seus ajustes será melhor explicado na página 86.

Duas variantes principais definem as características finais de um corpo cerâmico qualquer. São elas a temperatura de queima e os materiais empregados na preparação da massa (VITTEL, 1978). As temperaturas definidas foram estabelecidas a partir dos testes de queima, e nesta fase definiu-se a quantidade de lodo a ser incorporado na mistura.

Neste caso, a argila foi substituída pelo lodo de papel, cuja proporção será da ordem de 60% dos 38% que compõem a caolinita. A princípio deseja-se que as temperaturas de cocção sejam elevadas ao limite para que a massa funda mais uniformemente evitando o aparecimento de poros na pasta cozida. A temperatura será variada em 3 valores, sendo o primeiro em 1200°, o segundo em 1250° e por fim 1300°. O

lodo será introduzido em 11 grupos de testes em 11 quantidades diferentes, variando a porcentagem de lodo na composição de 5% em 5% até atingir 50% da quantidade total de argilas presentes na composição. As massas seguirão a seguinte fórmula, para cada 100 gramas de massa:

<b>Composição</b>	quartzo	feldspato	chamote	lodo	argilas	caolin
<b>0% lodo</b>	30	10	22	0	22.8	15.2
<b>5% lodo</b>	30	10	22	1.1	21.7	15.2
<b>10% lodo</b>	30	10	12	2.2	20.6	15.2
<b>15% lodo</b>	30	10	12	3.4	19.4	15.2
<b>20% lodo</b>	30	10	12	4.5	18.3	15.2
<b>25% lodo</b>	30	10	12	5.7	17.1	15.2
<b>30% lodo</b>	30	10	12	6.8	16	15.2
<b>35% lodo</b>	30	10	12	7.9	14.9	15.2
<b>40% lodo</b>	30	10	12	9.1	13.7	15.2
<b>45% lodo</b>	30	10	12	10.2	12.6	15.2
<b>50% lodo</b>	30	10	12	11.5	11.5	15.2

Tabela 4 – Gramas de matéria-prima na composição da massa (Para cada 100 gramas).

#### 4.5.3 Preparação dos corpos-de-prova



Figura 8 – Trituração da argila comum.  
FONTE: arquivo pessoal.

Para a preparação dos corpos-de-prova seguiu-se a metodologia sugerida por Lengler *et al* (2006). As matérias-primas foram adquiridas no revendedor paulista de produtos para cerâmica Hobby Cerâmica em forma de pó. Foram comprados 10 quilos de quartzo, 10 quilos de caolin branco, 10 quilos de feldspato potássico e 10 quilos de chamote fino, além de 2 quilos de esmalte



Figura 9 – Matérias-primas. Em sentido horário: chamote, caolin, quartzo, feldspato e lodo no centro.  
FONTE: arquivo pessoal

transparente com chumbo, esmalte branco alcalino, 1 quilo de cola CMC para a preparação do esmalte e 1 litro de engobe branco. A argila plástica utilizada foi a argila comum caracterizada pelo LAMIR no campus do Centro Politécnico, em Curitiba, cuja caracterização encontra-se no Anexo 2.



Figura 10 – Pesagem das matérias-primas.  
FONTE: arquivo pessoal

O lodo, que originalmente é úmido, foi seco em temperatura ambiente por 30 dias e triturado em um processador de alimentos. Foi utilizado uma malha 80 *mesh* para peneirar o resíduo e obter-se um pó aerado com aspecto de poeira.

A argila, seca em uma estufa por 2 horas em temperatura de 110°, foi triturada manualmente utilizando-se um pilão de madeira e também peneirada para eliminar os grânulos maiores (Figura 8).

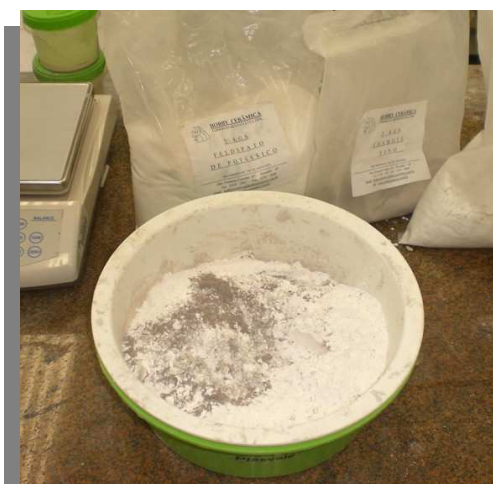


Figura 11 – Matérias-primas sendo misturadas.  
FONTE: arquivo pessoal

As matérias-primas (Figura 9) foram pesadas (Figura 10) e misturadas (Figura 11) de acordo com as fórmulas descritas acima, e peneiradas em conjunto para a obtenção de uma mistura mais homogênea (Figura 12). Após misturados, a massa seca foi hidratada com o auxílio de um vaporizador para evitar que a massa ficasse saturada com água. Foi utilizado aproximadamente 350 ml de água para cada 100 gramas

de mistura para a hidratação (Figura 13).





Figura 12 – Mistura das matérias-primas.  
FONTE: arquivo pessoal



Figura 13 – Massa hidratada.  
FONTE: arquivo pessoal.



Figura 14 – Moldagem dos corpos-de-prova.  
FONTE: arquivo pessoal.

A massa foi então manuseada e moldada no molde de madeira de 50 cm<sup>2</sup>, levando em consideração o encolhimento após a queima e o material a ser descartado após a abrasão da peça na lixadeira (Figura 14).

Os corpos-de-prova moldados foram separados do molde com o auxílio de uma espátula e descansaram por 24 antes de serem introduzidos em uma estufa a 110° ± 5° por aproximadamente 2 horas para a secagem completa (Figura 15).

Ao serem retirados da estufa, os corpos-de-prova foram lixados para a retirada dos excessos de massa nas arestas em uma lixadeira mecânica. Retirou-se o pó da superfície onde seria aplicado o esmalte por meio de uma escova macia e pulverizou-se um pouco de água na mesma para prepará-la para a aplicação do engobe. O engobe foi aplicado com um pincel e após seco aplicou-se várias camadas de esmalte transparente, também com pincel, seguindo as instruções do fabricante para a preparação deste (Figura 16).

Os corpos-de-prova descansaram por mais 24 horas para a secagem completa do engobe e do esmalte e então estavam prontos para serem introduzidos em forno elétrico para a queima, que se deu em um ciclo de 12



Figura 15 – Corpos-de-prova antes de serem inseridos na estufa.  
FONTE: arquivo pessoal.

horas, com um patamar de 30 minutos (após atingir a temperatura máxima programada, o forno permaneceu nesta temperatura por 30 minutos antes de iniciar o processo de resfriamento – Figura 17).

Após resfriados, os corpos-de-prova estavam prontos para seguirem para os procedimentos de ensaio de absorção.

O total de corpos-de-prova produzidos para o teste piloto foi de 99 unidades, nove corpos-de-prova para cada grupo de teste, queimados três a três nas temperaturas de 1200°, 1250° e 1300° (Figura 22).



Figura 16 – Aplicação do engobe e do esmalte transparente.  
FONTE: arquivo pessoal.

Os esmaltes em pó foram misturados com cola CMC para melhor aderirem na peça. A cola CMC foi preparada segundo instruções do fabricante, na proporção de 1 litro de água com uma colher de sopa rasa misturado em um processador, deixando descansar por 1 dia. Cada medida do esmalte em pó deve ser misturado com uma medida de cola CMC



Figura 17 –Corpos-de-prova no forno elétrico depois da queima.  
FONTE: arquivo pessoal.

#### .4.6 Ensaio de Absorção Preliminar



Figura 18 –Corpos-de-prova na estufa.  
FONTE: arquivo pessoal.

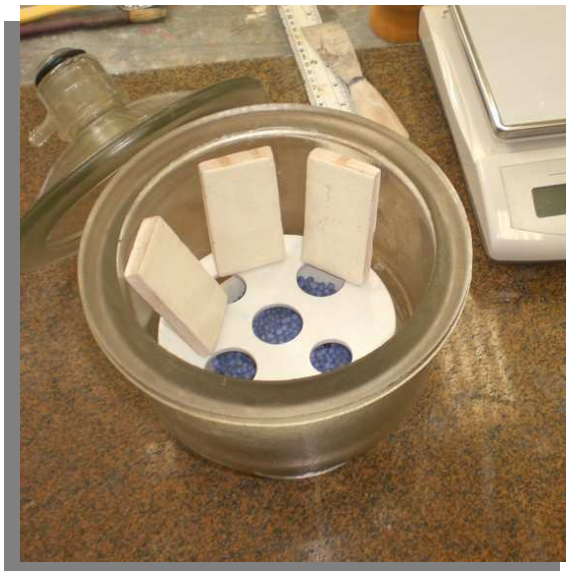


Figura 19 –Corpos-de-prova no dessecador.  
FONTE: arquivo pessoal.

Com os corpos-de-prova moldados, vidrados e queimados, passou-se para o teste de absorção preliminar, com a finalidade de avaliar o desempenho da massa em termos de absorção de água, relação com o vidrado e definição de uma faixa de porcentagem mais exata de agregado na massa para ser mais tarde trabalhada detalhadamente.

Após retirados do forno, os corpos-de-prova foram marcados com um marcador sua porcentagem de lodo, sua temperatura e seu “número”, expressos nas letras “A”, “B” e “C”, para facilitar o controle da pesagem que seria realizada a seguir. Em grupos de 9, os corpos-de-prova foram inseridos na estufa a  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}$  até obterem massa constante, aproximadamente 2 horas mais tarde (Figura 18). De lá foram transferidos para o





Figura 20 – Ebulição.  
FONTE: arquivo pessoal.

dessecador para esfriarem, conforme determina a metodologia de ensaio (Figura 19).

Depois de atingirem a temperatura ambiente, os corpos-de-prova foram pesados na balança com uma aproximação de 0,01 gramas e seus respectivos pesos marcados em uma tabela de controle (ANEXO). Passou-se então para a ebulição, e os corpos-de-prova foram imergidos em um recipiente com água destilada, presos um a um

com grampos metálicos para que ficassem na posição vertical sem se tocarem e suspensos por varetas de cobre de modo a evitar que encostassem no fundo do recipiente, conforme determina a metodologia de ensaio (Figura 20).

A temperatura foi elevada até que a água entrasse em fervura e manteve-se este estado por duas horas, repondo-se a água evaporada periodicamente. Após o término

das duas horas de ebulição, os corpos-de-prova foram transferidos para um outro recipiente juntamente com a água da ebulição para resfriarem. Os corpos-de-prova permaneceram neste recipiente com a água por 24 horas (Figura 21).



Figura 21 –Corpos-de-prova em fase de resfriamento.  
FONTE: arquivo pessoal.

Passadas as 24 horas os corpos-de-prova foram secos com um pano úmido para a retirada do excesso de água. O seu peso foi determinado mais uma vez e anotado na tabela de controle. Foram

consumidos 35 litros de água destilada neste ensaio preliminar de absorção.

#### 4.6.1 Resultados

A seguir os resultados neste teste de absorção serão apresentados, em valores correspondentes à porcentagem, obtidos a partir da fórmula presente na norma:

Corpos-de-prova submetidos à temperatura de 1200°		
1200°	0%	<b>15.60</b>
	5%	<b>15.71</b>
	10%	<b>12.94</b>
	15%	<b>16.45</b>
	20%	<b>14.77</b>
	25%	<b>16.45</b>
	30%	<b>17.19</b>
	35%	<b>15.25</b>
	40%	<b>15.55</b>
	45%	<b>20.57</b>
	50%	<b>27.03</b>

Corpos-de-prova submetidos à temperatura de 1250°		
1250°	0%	<b>11.15</b>
	5%	<b>3.75</b>
	10%	<b>7.15</b>
	15%	<b>10.41</b>
	20%	<b>10.60</b>
	25%	<b>8.19</b>
	30%	<b>10.24</b>
	35%	<b>14.57</b>
	40%	<b>9.69</b>
	45%	<b>14.06</b>
	50%	<b>20.84</b>

Corpos-de-prova submetidos à temperatura de 1300°		
1300°	0%	<b>5.98</b>
	5%	<b>4.77</b>
	10%	<b>4.97</b>
	15%	<b>6.01</b>
	20%	<b>5.51</b>
	25%	<b>4.66</b>
	30%	<b>6.70</b>
	35%	<b>7.50</b>
	40%	<b>6.65</b>
	45%	<b>8.44</b>
	50%	<b>14.22</b>

Tabela 5 – resultado do ensaio de absorção dos corpos-de-prova queimados nas diferentes temperaturas e porcentagens de lodo de papel na massa.

#### 4.6.2 Discussão

A variação dos valores de absorção resultantes do ensaio parece não linear, mas há um sinal de progressão na medida em que se eleva a quantidade de resíduo misturado

na massa. No entanto, mesmo na temperatura de queima mais alta, os resultados de absorção estão muito acima daqueles permitidos pela norma (menor que 0.75), mostrando que a massa cuja fórmula Vittel (1978) sugere em seus estudos não está de acordo com as especificações de absorção estabelecidas pela norma ABNT. Isso pode ser resultado de diferenças na composição química das matérias primas utilizadas neste experimento, pois de acordo com Lengler *et al* (2006), as matérias-primas influenciam diretamente as propriedades finais das peças, como a porosidade. Além disso, Lengler *et al* (2006) concluiu que a formulação de uma pasta com fundente, quartzo e caolin é similar a de uma porcelana, e a baixa quantidade de fundente presente em uma massa desse tipo (inferior a 50%) pode exigir uma temperatura de queima muito elevada para obter-se uma greisificação, temperatura essa similar as praticadas para porcelana.



Figura 22 –Corpos-de-prova ensaiados.  
FONTE: arquivo pessoal.

Portanto foi necessário ajustar a formulação da massa para que os níveis de absorção de água fossem mais compatíveis com a realidade técnica exigida pela norma e para que a temperatura limite estabelecida no teste piloto fosse conservada (1300°). Os altos valores de absorção obtidos no experimento piloto constataram que a massa resultante possuía uma porosidade excessiva,

temperaturas de queima elevadas, graças a pouca quantidade de fundente presente na composição.

Diante destes dados, decidiu-se por aumentar a quantidade de fundente na massa nas proporções de 20%, 30% e 40%, que era originalmente da ordem de 10%. Em contrapartida, a caolinita foi reduzida de 60% para 50%, 40% e 30%, respectivamente. Para

cada um dos 3 grupos-teste foram produzidos 3 corpos de prova para serem submetidos às mesmas temperaturas de queima estabelecidas no experimento piloto: 1200°, 1250° e 1300°. Após queimados, os corpos de prova passaram pelos procedimentos de ensaio de absorção e os resultados obtidos foram os seguintes:

Feldspato	20%	temperatura	absorção
		1200°	<b>12.19</b>
		1250°	<b>7.05</b>
	30%	1300°	<b>3.37</b>
		1200°	<b>9.64</b>
		1250°	<b>4.35</b>
		1300°	<b>1.93</b>
	40%	1200°	<b>6.41</b>
		1250°	<b>2.53</b>
		1300°	<b>0.40</b>

Tabela 6 – resultado do ensaio de absorção na massa com diferentes percentuais de feldspato.

A presença de maiores quantidades de feldspato influenciou dramaticamente nos resultados de absorção dos corpos-de-prova. Embora reduzidos drasticamente, os valores de absorção de água só se mostraram satisfatórios com a norma ( $\geq 0.75\%$ ) na proporção de 40% de feldspato queimados na temperatura de 1300°.

De posse dessas informações, a composição cerâmica para o ensaio final foi alterada e seguiu a fórmula a seguir:

controle 0% lodo (100gr)

**30% quartzo**  
**40% feldspato**  
**12% chamote**  
**10% argilas**  
**8% caolin**

Como observado no experimento piloto, os resultados da absorção de água nos corpos de prova queimados a 1300° foram mais elevados a partir da proporção de 30% de lodo presente na mistura. Este indicativo limitou a quantidade de lodo que foi experimentada no ensaio final, que variou de 5% à 40%. Como a quantidade de argilas na massa final caiu de 22.8% para apenas 10%, preparou-se um grupo de corpos de prova com 60% de lodo para garantir que uma quantidade maior de resíduo não seria tolerada. As composições seguiram a seguinte formulação (em gramas de matéria-prima para cada 100 gramas de massa):

<b>Composição</b>	quartzo	feldspato	chamote	lodo	argilas	caolin
<b>5%</b>	30	40	12	0.5	9.5	8
<b>10%</b>	30	40	12	1	9	8
<b>15%</b>	30	40	12	1.5	8.5	8
<b>20%</b>	30	40	12	2	8	8
<b>25%</b>	30	40	12	2.5	7.5	8
<b>30%</b>	30	40	12	3	7	8
<b>35%</b>	30	40	12	3.5	6.5	8
<b>40%</b>	30	40	12	4	6	8
<b>60%</b>	30	40	12	6	4	8

Tabela 7 – Ajuste da massa com percentual de cada elemento.

#### 4.7 Ensaio de absorção final

Após a pesquisa de ajuste da fórmula da massa, foram preparados 3 corpos-de-prova para cada composição acima, totalizando 27 peças, queimadas na temperatura de 1300°, e seguiu-se para o ensaio de absorção utilizando-se a mesma metodologia aplicada no ensaio preliminar. Os resultados obtidos serão descritos a seguir:

Feldspato 40% (1300°)	Composição Lodo %	Absorção (%)
	5%	<b>0.65</b>
	10%	<b>0.42</b>
	15%	<b>0.48</b>
	20%	<b>0.69</b>
	25%	<b>1.34</b>
	30%	<b>1.72</b>
	35%	<b>1.88</b>
	40%	<b>2.14</b>
	60%	<b>5.12</b>

Tabela 8 – Absorção de água na fórmula ajustada.

##### 4.7.1 Discussão

Com a fórmula alterada, observou-se uma melhora nos resultados de absorção, influenciada pelo aumento do fundente feldspato na massa cerâmica. Como apontado no

experimento preliminar, a tolerância da massa ao lodo de papel permaneceu próxima aos 30%. Neste caso o desempenho da massa quanto à absorção foi satisfatório até a composição de 20% de lodo na mistura, com valores menores a 0.75%. Esse resultado indica que a massa torna-se demasiadamente porosa a partir dos 20% do agregado, podendo comprometer outras exigências da norma com relação ao corpo cerâmico, como a resistência mecânica.

Vale ressaltar que a média dos valores da absorção para a composição de 5% de lodo na massa obtida parece estar acima da normalidade. Este valor pode ter sido influenciado por uma série de fatores, como problemas no momento de homogeneização das matérias-primas ou falhas no vidrado que reveste uma das faces maiores da peça. Sugere-se uma maior investigação das causas deste resultado caso uma análise mais detalhada desta faixa de absorção se faça necessária.

É importante lembrar que os percentuais de lodo inseridos na massa não equivalem aos valores totais da mistura. A fórmula geral é a seguinte:

**30% quartzo**  
**40% feldspato**  
**12% chamote**  
**10% argilas**  
**8% caolin**

Assim, a composição de 20% de lodo corresponde a 20% da quantidade de argila substituída por lodo de papel. Neste caso, a composição de 20% de lodo equivale na realidade a 2% do total da massa:

**30% quartzo**  
**40% feldspato**  
**12% chamote**  
**8% argilas**



**2% Iodo**  
**8% caolin**

## 5 – ANÁLISE/CONSIDERAÇÕES

Considerando o estudo teórico e prático realizado nesta pesquisa, conclui-se que a associação do lodo de papel com a cerâmica branca destinada à produção de louça sanitária é possível, levando-se em consideração a carga máxima de agregado limitada pelos ensaios.

A pesquisa realizada demonstra também que a hipótese formulada se confirma, uma vez que o lodo de papel pode ser adicionado à massa cerâmica na proporção de 2% sem que a porosidade final da composição ultrapasse os limites estabelecidos pela norma brasileira.

Os resultados diferem sensivelmente dos estudos realizados com a cerâmica vermelha na fabricação de tijolos, cuja proporção máxima de agregado ficou na casa dos 10% da composição (SILVA *et al*, 2006). Isso se deve ao fato da cerâmica branca estar sujeita à norma distinta da cerâmica vermelha principalmente no que se refere aos limites máximos de absorção de água.

As capacidades combustíveis do lodo de papel não foram exploradas neste trabalho, mas poderiam também auxiliar na utilização deste resíduo e estimular a indústria de louça sanitária a absorver o resíduo visando a diminuição de custos energéticos para a queima de seus produtos.

Embora a quantidade de lodo tolerada pela massa de louça sanitária seja relativamente pequena (2%), o montante de agregado total que poderia ser consumido pela indústria de sanitários no Brasil seria bastante razoável. Como pesquisado na

bibliografia, o número de peças produzidas pela indústria brasileira ao ano alcança a marca de 18 milhões de unidades (TANNO *et al*, 2003). Isso equivaleria a aproximadamente 4 toneladas de lodo consumidas na fabricação desses aparelhos, se considerado que em cada aparelho seriam agregados cerca de 200 gramas de lodo na composição da sua massa.

O tamanho do problema, porém, é muito maior do que a solução aqui apontada. Apenas um terço do que é gerado diariamente seria aproveitado em um período de um ano na produção de louça sanitária, mas o esforço conjunto de outros setores industriais da construção civil e outras áreas de produção poderiam amenizar os custos ambientais decorrentes da fabricação de papel. Por isso a pesquisa de formas de aproveitamento deste resíduo se faz tão urgente.

É latente a necessidade de um planejamento ambiental na empresa pesquisada e um completo estudo do ciclo da vida do sistema-produto, com estratégias ambientais responsáveis e possibilidades de parcerias para o escoamento do resíduo gerado, poderia reduzir o impacto ambiental causado pela sua atividade produtiva.

Este trabalho constitui uma nova contribuição para o problema dos resíduos gerados pela indústria de papel, que está alinhada com esforços iniciados na década de XX por outros pesquisadores. É uma sinalização de que outras associações são passíveis de serem executadas, e cabe à academia e à indústria aplicar estes conhecimentos no planejamento consciente de estratégias ambientais consistentes e verdadeiras.

Sugere-se um aprofundamento deste estudo, já que a manipulação de algumas variáveis pode ainda resultar em valores diversos, como o aumento da temperatura de

queima, variação da quantidade de argilas na composição e ainda a manipulação de outros componentes da massa. Outros fundentes também podem ser analisados, podendo-se assim obter outros resultados de absorção final.

## Referências

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos – classificação, Rio de Janeiro, 2004.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Sistemas de gestão ambiental, especificação e diretrizes para uso*: **NBR ISO 14001**. Rio de Janeiro, 1996

ALDA O.; Jesus A.G.: **Feasibility of recycling pulp and paper mill sludge in the paper and board industries**. Resources, Conservation and Recycling 52 (2008) 965–972

BALBINOT JUNIOR, A. A; TORRES, A. N. L; FONSECA, J. A. da; TEIXEIRA, J. R; NESI, C. N. **Alteração em características químicas de um solo ácido pela aplicação de calcário e resíduo de reciclagem de papel**. Revista de Ciência Agroveterinárias, Lages, v.5, n.1, p.16-25, 2006.

BATTISTELLE, R. A. G. **Análise da viabilidade técnica do resíduo de celulose e papel em tijolos de adobe**. 2002. 98p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

BAXTER, M. **Projeto de Produto**. São Paulo: Edgar Blücher, 1998.

BRACELPA, Associação Brasileira de Celulose e Papel, Avaliação do setor de celulose e papel, **Desempenho do setor em 2004**.

Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br/economico.asp>, acesso em: 24 dez. 2006.

BUTTER, P. L. **Desenvolvimento de um modelo de gerenciamento compartilhado dos resíduos sólidos industriais no sistema de gestão ambiental da empresa**. 2003. 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

CINO, F; BRÖTZ, F.J. **Tecnologias Modernas para a Produção de Louça Sanitária**. Cerâmica Industrial, 01 (03) Julho/Agosto, 1996.

CONAMA, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Disposição sobre a geração de resíduos nas atividades industriais**. Resolução n. 6, de 15 de junho de 1988. Lex Ambiental: Coletânea de Legislação e jurisprudência, Rio de Janeiro, 2002. Legislação Federal

COSTA, E. R. O. **Alterações químicas no solo e na água de percolação após aplicação de resíduos de fábrica de papel reciclado em *Pinus Taeda L.*** 2007. 138 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

- FERNANDES, D. M.; **Design e Tecnologia aplicada a produtos domésticos em grés cerâmico**. (Tese) Doutorado em Engenharia de Produção, Florianópolis – UFSC, 1998.
- HOJAMBERDIEV M., KAMESHIMA Y., NAKAJIMA A., OKADA K., KADIROVA Z.: **Preparation and sorption properties of materials from paper sludge**. Journal of Hazardous Materials 151 (2008) 710–719
- HORACE, K; MOO-YOUNG, Jr.; ZIMMIE, T.: **Waste minimization and re-use of paper sludges in landfill covers**. Waste and Management & Research (1997) 15, 593-605
- JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. 102p. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- JOHN, V.M. **Panorama sobre a reciclagem de resíduos na construção civil**. In: Seminário Desenvolvimento Sustentável e a reciclagem na construção civil, 2., São Paulo, 1999. Anais. São Paulo, IBRACON, 1999. p.44-55.
- LEBÉIS, V. D. L. **Viabilidade do uso do resíduo da fabricação do papel em argamassas**. Campinas, 2003. 115p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- LENGLER, H.C.M; BRAGANÇA. S.R; BERGMANN, C.P. **Influência do tipo de fundente sobre a porosidade final em cerâmicas tradicionais**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, 2006. Anais.
- MAIA, Claudia B. F. **Uso de casca de pinus e lodo bilógico como substrato para a produção de mudas de *pinus taeda***. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 39, p.81-92, jul./dez. 1999.
- MANZINI, E; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. São Paulo: EDUSP, 2002.
- MENEZES, R. **O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.2, p.303-313, 2002 Campina Grande, PB, DEAg/UFCG
- MOTTAA, J.; ZANARDOB, A.; JÚNIORA, M.; TANNOA, L.; CUCHIERATO, G. **Matérias-Primas Plásticas para a Cerâmica Tradicional: Argilas e Caulins**, in: Cerâmica Industrial, 9 (2) Março/Abril, 2004
- NUNES JR, M. L. **Aplicação da metodologia de produção limpa em uma pequena empresa de laticínios**. 2002. 112f.. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina,

Florianópolis.

NOLASCO, A.M. **A utilização de resíduos da indústria de papel na produção de materiais para construção civil.** 1993. Dissertação (Mestrado em Ciências da engenharia ambiental) – Escola de engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 1993.

NORTON, F.H **Cerâmica Fina: tecnologia y aplicaciones.** 2.ed. Barcelona: Omega, 1983.

NORTON, F. H. **Introdução à Tecnologia Cerâmica.** Editora da USP. São Paulo 1973.

OLIVEIRA, H.A. et al. **Aproveitamento de resíduo do processo de fabricação de papel em massas de revestimento tipo semi-grés.** In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 43°, revestimentos cerâmicos, 020. Santa Catarina, 1999.

OLIVEIRA, R. **Resíduos Perigosos: a responsabilidade é de quem produz.** Revista Banas Ambiental, São Paulo, n. 09, p. 10-19, dez. 2000.

OLIVEIRA, M.C.; MAGANHA, M.F.: **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmicas branca e de revestimentos** - São Paulo : CETESB, 2006. 90p. (1 CD) : il. ; 21 cm. (Série P + L)

PAHL, G.; BEITZ, W.: **Engineering Design** – a systematic approach. London, 1993.

PAIVA, Samantha N. **Compósito cimento-lodo de ETE de indústria de papel para aplicação na construção civil.** 2007. Dissertação (Mestrado Engenharia florestal). Escola superiro de Agricultura Luiz de Queiroz, USP. Piracicaba, 2007.

PINHEIRO, R.M.; VIEIRA, C.M.F.; RODRIGUEZ, R.S.; MONTEIRO, S.N. **Reciclagem de resíduo proveniente da produção de papel em cerâmica vermelha.** Revista Matéria, v. 13, n. 1, pp. 220 – 227, 2008 <http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10987>

PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** São Paulo, 1999. 189p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

RUDIO,Victor Franz. **Introdução ao Projeto de Pesquisa Científica,** Petrópolis: Vozes, 30ª edição, 2002

SABBAG, M.; MORITA D. **Incorporação de lodo de estações de tratamento de água em blocos cerâmicos.** In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 45°, 2001

SILVA, A.R.V., PAPAFAANURAKIS, D.F.G., SILVA, F.N., DANTAS, J., MACEDO, R.S., **Utilização de rejeito de celulose e papel na confecção de blocos cerâmicos**, In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, pp. 1-9, Blumenau, Jun. 2006.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2000.

TANNO, E. L; CUCHIERATO, G.; MOTTA, J.M.; JUNIOR, M.C.; SINTONI, A.; MACHADO, S.; YOKOTA R. **Perspectivas para a indústria de cerâmica de sanitários no Brasil**. Cerâmica Industrial, 8 (4) Julho/Agosto, 2003.

TEIXEIRA, Paula F. **Investigação sobre as características geotécnicas de um resíduo de papel**. 2002. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, UPS, São Paulo, 2002.

VITTEL, Claude. **Cerâmica: pastas y vidriados**. Delta, Espanha, 1978.

YIN, Robert. **Estudo de caso: planejamento e método**. Bookman, 2005.

WOLFF, E. **A substituição da argila por lodo de ETA na produção da cerâmica vermelha**. Anais do 51º. Congresso Brasileiro de cerâmica. Bahia, Salvador, 2007.



## **ANEXOS**

## Anexo 1 – Caracterização do resíduo de papel

PARÂMETRO	AMOSTRA LODO ETE	LIMITES NBR-10004/04
<b>CARACTERIZAÇÃO AMOSTRA BRUTA</b>		
pH em água	8,60	2,0 – 12,5
Umidade a 65°C	0,90%	—
Umidade a 105°C	1,55%	—
Cinzas	55,54%	—
Matéria orgânica	42,92%	—
Carbono total	23,84%	—
Nitrogênio total	0,03%	—
Enxofre total	0,04%	—
Fósforo total	0,23%	—
Fenóis totais	5,35 mg/kg	—
Coliformes totais	5,07x10 <sup>2</sup> NMP/100g (peso seco)	—
Coliformes fecais (termotolerantes)	40,62 NMP/100g (peso seco)	—
Alumínio	13,30 g/kg	—
Arsênio	<49,94 mg/kg	—
Bário	94,76 g/kg	—
Berílio	<1,00 mg/kg	—
Boro	<499,45 mg/kg	—
Cádmio	<9,99 mg/kg	—
Cálcio	150,04 g/kg	—
Chumbo	10,99 mg/kg	—
Cobalto	<9,99 mg/kg	—
Cobre	49,14 mg/kg	—
Cromo total	7,09 mg/kg	—
Ferro	2,48 g/kg	—
Magnésio	1,76 g/kg	—
Manganês	44,35 mg/kg	—
Mercurio	0,18 mg/kg	—
Molibdênio	<9,99 mg/kg	—
Níquel	<9,99 mg/kg	—
Potássio	136,79 mg/kg	—
Prata	<4,99 mg/kg	—
Selênio	<49,94 mg/kg	—
Sódio	171,54 mg/kg	—
Zinco	265,22 mg/kg	—
<b>CARACTERIZAÇÃO LIXIVIADO</b>		
Arsênio	<0,0025 mg/L	1,00 mg/L

Bário	2,13 mg/L	70,00 mg/L
Cádmio	<0,10 mg/L	0,50 mg/L
Chumbo	<0,05 mg/L	1,00 mg/L
Cromo total	0,05 mg/L	5,00 mg/L
Mercúrio	<0,001 mg/L	0,10 mg/L
Prata	<0,05 mg/L	5,00 mg/L
Selênio	<0,005 mg/L	1,00 mg/L

#### **CARACTERIZAÇÃO SOLUBILIZADO**

Cloretos	123,76 mg/L	250,00 mg/L
Fenóis totais	0,11 mg/L	0,01 mg/L
Detergente	0,49 mg/L	0,50 mg/L
Nitrato	1,50 mg/L	10,00 mg/L
Sulfato	<0,10 mg/L	250,00 mg/L
Alumínio	7,74 mg/L	0,20 mg/L
Arsênio	<0,0025 mg/L	0,01 mg/L
Bário	0,89 mg/L	0,70 mg/L
Cádmio	<0,0005 mg/L	0,005 mg/L
Chumbo	0,005 mg/L	0,01 mg/L
Cobre	<0,10 mg/L	2,00 mg/L
Cromo total	<0,05 mg/L	0,05 mg/L
Ferro	12,93 mg/L	0,30 mg/L
Manganês	0,26 mg/L	0,10 mg/L
Mercúrio	<0,001 mg/L	0,001 mg/L
Prata	<0,05 mg/L	0,05 mg/L
Selênio	<0,005 mg/L	0,01 mg/L
Sódio	12,95 mg/L	200,00 mg/L
Zinco	0,10 mg/L	5,00 mg/L

## Anexo 2 – Caracterização da argila comum utilizada no experimento

### 1. SOLICITANTE

**Prof<sup>a</sup> Maria Lúcia**

### 2. DATA DE EMISSÃO

**22/12/2008**

### 3. TIPO DE ENSAIO

#### **Análise química quantitativa total por espectrometria de fluorescência de raios-X**

OBS: Pastilha fundida, Espectrômetro Philips PW 2400.

#### **Análise mineralógica qualitativa por difratometria de raios-X**

OBS: Identificação de argilominerais com tratamento, Difratorômetro Philips PW 1830.

### 4. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)

**Pelo solicitante**

Argila 589 AD

**Nº. LAMIR**

625/08

### 5. RESULTADOS

#### **Composição Química:**

Amostra	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	P.F. (%)	Soma (%)
625/08	68,01	15,88	1,29	0,21	4,85	0,18	0,40	1,21	0,10	0,14	7,26	99,53

- P.F. = Perda ao fogo

#### **Composição Mineralógica:**

<b>Mineral</b>
Argilomineral do Grupo da Caolinita
Argilomineral do Grupo da Vermiculita

### Anexo 3 – Tabelas de controle de absorção de água

		$m_{(s)}$	$m_{(u)}$
Composição 5%	1200°	77.35	89.47
		69.49	80.97
		76.24	87.72
	1250°	92.96	96.50
		88.60	92.04
		85.21	88.27
	1300°	67.57	70.59
		70.80	74.36
		72.20	75.70

1200° = 15.60  
16.50      **15.71**  
15.05

1250° = 3.80  
3.88      **3.75**  
3.59

1300° = 4.46  
5.02      **4.77**  
4.84

		$m_{(s)}$	$m_{(u)}$
Composição 10%	1200°	64.11	72.30
		65.81	74.47
		62.63	70.71
	1250°	71.10	75.74
		56.67	61.45
		61.58	65.63
	1300°	96.54	100.99
		80.02	84.49
		64.30	67.36

1200° = 12.77  
13.15      **12.94**  
12.90

1250° = 6.52  
8.43      **7.15**  
6.50

1300° = 4.60  
5.58      **4.97**  
4.75

		$m_{(s)}$	$m_{(u)}$
Composição 15%	1200°	70.82	82.68
		77.46	89.56
		84.75	99.17
	1250°	72.78	80.59
		75.69	83.42
		85.88	94.74
	1300°	87.04	93.12
		85.29	91.58
		68.59	71.13

1200°= 16.74

15.62

**16.45**

17.01

1250°= 10.73

10.21

**10.41**

10.31

1300°= 6.98

7.37

**6.01**

3.70

		$m_{(s)}$	$m_{(u)}$
Composição 20%	1200°	69.06	78.97
		60.85	70.15
		66.43	76.20
	1250°	72.57	80.09
		75.85	84.23
		78.18	86.33
	1300°	65.90	70.40
		74.65	79.79
		63.08	67.13

1200°= 14.34

15.28

**14.77**

14.70

1250°= 10.36

11.04

**10.60**

10.42

1300°= 6.82

6.88

**6.70**

6.42

		$m_{(s)}$	$m_{(u)}$
Composição 25%	1200°	73.64	83.69
		85.44	97.87
		81.56	98.85
	1250°	71.89	77.63
		69.74	75.66
		78.88	85.30
	1300°	80.77	84.95
		71.95	75.18
		79.07	82.51

1200°= 13.64  
14.54      **16.45**  
21.19

1250°= 7.98  
8.48      **8.19**  
8.13

1300°= 5.17  
4.48      **4.66**  
4.35

		$m_{(s)}$	$m_{(u)}$
Composição 30%	1200°	62.60	73.63
		65.14	76.44
		68.15	79.49
	1250°	65.56	71.75
		75.15	82.67
		75.53	84.05
	1300°	62.42	65.88
		60.65	63.96
		61.43	65.05

1200°= 17.61  
17.34      **17.19**  
16.63

1250°= 9.44  
10.00      **10.24**  
11.28

1300°= 5.24  
5.45      **5.51**  
5.89

		$m(\bar{x})$	$m(u)$
Composição 35%	1200°	76.42	88.15
		75.32	86.99
		82.84	96.28
	1250°	82.52	94.74
		70.57	80.74
		71.98	82.43
	1300°	73.34	79.35
		71.98	77.47
		74.33	79.31

1200°= 15.34  
14.17      **15.24**  
16.22

1250°= 14.80  
14.41      **14.57**  
14.51

1300°= 8.19  
7.62      **7.50**  
6.69

		$m(\bar{x})$	$m(u)$
Composição 40%	1200°	71.99	83.42
		82.66	95.28
		83.61	96.61
	1250°	86.46	95.01
		70.88	77.49
		86.46	95.01
	1300°	78.20	83.17
		72.32	77.00
		71.23	76.31

1200°= 15.87  
15.26      **15.55**  
15.54

1250°= 9.88  
9.32      **9.69**  
9.88

1300°= 6.35  
6.47      **6.65**  
7.13



		$m_{(s)}$	$m_{(u)}$
Composição 45%	1200°	76.10	91.52
		75.24	90.61
		67.75	82.00
	1250°	67.54	77.31
		61.13	69.42
		75.20	85.85
	1300°	72.79	79.00
		67.94	73.55
		68.56	74.43

1200°= 20.26  
20.42  
21.03  
**20.57**

1250°= 14.46  
13.56  
14.16  
**14.06**

1300°= 8.53  
8.25  
8.56  
**8.44**

		$m_{(s)}$	$m_{(u)}$
Composição 50%	1200°	80.81	103.62
		91.83	116.41
		63.84	80.52
	1250°	83.47	99.94
		66.87	80.21
		72.02	88.49
	1300°	72.09	82.99
		72.61	82.53
		85.53	97.43

1200°= 28.22  
26.76  
26.12  
**27.03**

1250°= 19.73  
19.94  
22.86  
**20.84**

1300°= 15.11  
13.66  
13.91  
**14.22**

		$m_{(s)}$	$m_{(u)}$
Composição 0%	1200°	71.53	82.64
		70.19	80.80
		81.21	94.34
	1250°	79.01	87.64
		80.60	89.57
		86.23	96.09
	1300°	78.83	83.38
		85.13	90.27
		78.44	83.26

1200°= 15.53

15.11

**15.60**

16.16

1250°= 10.92

11.12

**11.15**

11.43

1300°= 5.77

6.03

**5.98**

6.14

			$m_{(s)}$	$m_{(u)}$
Feldspato	20%	1200°	50.11	56.22
		1250°	50.62	54.19
		1300°	63.07	65.20
	30%	1200°	56.11	61.52
		1250°	51.18	53.41
		1300°	56.26	57.42
	40%	1200°	47.56	50.61
		1250°	52.43	53.76
		1300°	59.95	60.19

1200°= **12.19**

Feldspato 20% 1250°= **7.05**

1300°= **3.37**

1200°= **9.64**

Feldspato 30% 1250°= **4.35**

1300°= **1.93**

1200°= **6.41**

Feldspato 40% 1250°= **2.53**

1300°= **0,40**

		$m_{\{s\}}$	$m_{\{u\}}$	total
Feldspato 40% (1300°)	5%	88.00	88.64	<b>0.65</b>
		82.50	82.82	
		82.85	83.56	
	10%	88.68	89.23	<b>0.42</b>
		80.70	80.99	
		80.22	80.46	
	15%	85.84	86.26	<b>0.48</b>
		73.88	74.43	
		85.24	85.97	
	20%	84.28	85.03	<b>0.69</b>
		80.82	81.04	
		73.34	73.56	
	25%	68.87	70.32	<b>1.72</b>
		79.58	81.06	
		87.87	88.94	
	30%	78.58	79.20	<b>1.34</b>
		78.83	80.54	
		81.27	82.17	
	35%	75.57	77.83	<b>1.88</b>
		76.34	77.11	
		87.12	88.58	
	40%	82.85	84.66	<b>2.14</b>
		82.84	84.25	
		81.00	83.07	
	60%	81.83	85.47	<b>5.12</b>
		84.38	86.83	
		73.79	79.73	